



zur Erlangung des Grades eines

verfasst und mit Bewilligung

zur öffentlichen Vertheidigung bestimmt.

VON

1. Assistenten an der Universitäts-Augenklinik.



**Schnakenburg's Buchdruckerei.**

Bibliotheca  
universitatis  
Turicensis

2. 2. 11. 11.

Печатано съ разрѣшенія Медицинскаго Факультета Император-  
скаго Юрьевскаго Университета.

Г. Юрьевъ, 3 Апрѣля 1900 года.

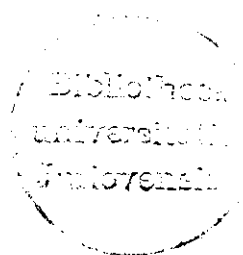
№ 410.

Деканъ В. Курчипскій.

21/4 1900

---

MEINEN ELTERN.





Hiermit spreche ich meinen tiefempfundenen Dank Herrn Professor Dr. E. Raehlmann aus, unter dessen Leitung die nachstehende Arbeit ausgeführt wurde, sowohl für die Belehrung und die im reichsten Masse mit Rath und That mir zu Theil gewordene Unterstützung als auch für das Wohlwollen, welches er mir stets entgegengetragen hat.

Desgleichen drücke ich Herrn Prof. Sadowski meine Erkenntlichkeit aus für die Bereitwilligkeit, mit welcher er mir sein Institut und die zur Entwerfung des objektiven Spektrums nöthigen Apparate zur Verfügung gestellt hat.

Dem Assistenten des physicalischen Kabinets Herrn Dr. Kossacz meinen verbindlichsten Dank für seine mühevollen und zeitraubenden Unterstützung.



# Einleitung.

## Motto:

„Vergebens bemühen wir uns den Charakter eines Menschen zu schildern: man stelle dagegen seine Handlungen, seine Thaten zusammen und ein Bild des Charakters wird uns entgegentreten und die Farben sind Thaten des Lichtes.“

(Goethe, zur Farbenlehre).

Angeregt durch meinen hochverehrten Lehrer und Chef Prof. Dr. Raehlmann unternahm ich es einige Untersuchungen an Farbenblinden vorzunehmen und die Resultate in der vorliegenden Arbeit niederzulegen. Die Anregung empfing ich besonders durch die letzte Veröffentlichung Prof. Raehlmann's<sup>1)</sup> über einen Fall totaler Farbenblindheit, den ich mit zu beobachten Gelegenheit hatte und welcher unter dem Titel „Ueber relativen und absoluten Mangel des Farbensinnes“ in der Zeitschrift für Augenheilkunde Bd. II, 1900 veröffentlicht worden ist.

Es ist weder meine Aufgabe noch Absicht mich in das weite Gebiet der Physiologie der Farbenempfindungen zu begeben, um eine Lösung der Frage über die Farbenempfindung u. Farbenblindheit zu finden.

---

1) E. Raehlmann, „Ueber relativen u. absoluten Mangel des Farbensinnes“ Zeitschrift für Augenheilkunde. Bd. II, 1900.



Ich begnüge mich damit meine Beobachtungen an einer Reihe Farbenblinder mitzuthellen u. werde im Folgenden die Theorien der Farbenempfindung nur so weit berücksichtigen, als zum Verständniss meiner Versuche erforderlich ist, im Uebrigen es der physiologischen Forschung überlassend, die Resultate der rein praktischen Erfahrung mit den verschiedenen Theorien in Einklang zu bringen.

Wissenschaftliche Arbeiten über die Beziehungen zwischen normaler Farbenempfindung und Farbenblindheit sind recht zahlreich vorhanden. Eine Reihe von Theorien, welche es versuchen die letzteren aus den ersteren abzuleiten, stehen sich zur Zeit einander gegenüber, aber eine Einigung der Ansichten ist nicht erzielt worden. Daher ist es wünschenswerth, dass immer wieder neues Material gesammelt und analysirt wird, um die so complicirten Fragen Schritt für Schritt der Lösung entgegen zu führen. Die praktischen Arbeiten und Untersuchungen an farbenstarken und farbenblinden Augen sind die Bausteine, die uns zur Erkenntniss des inneren Zusammenhanges der Dinge führen müssen.

Aber nicht allein hohes wissenschaftliches Interesse hat die Lehre von der Farbenempfindung und Farbenblindheit, sondern ist bekanntlich auch von grossem praktischen Werth, indem sie die Ausübung mancher Berufsarten erschwert, die anderer gänzlich unmöglich macht.

Die Häufigkeit der Farbenblindheit wird gewöhnlich unterschätzt, sie kommt nach den vorhandenen, jetzt schon zahlreichen, statistischen Erhebungen, wenn man die geringen nicht ausgesprochenen Fälle der Anomalie mitzählt, relativ sehr häufig vor.

Die Farbenblindheit wurde bekanntlich zuerst von dem englischen Physiker Dalton im Jahre 1794 beschrieben und seitdem häufig mit dem Namen „Daltonismus“ bezeichnet. Dalton entdeckte die Anomalie an sich selbst durch die Beobachtung, dass purpurne Farben ihm am Tage blau, abends bei Licht roth schienen. So fand er, dass eine Blüthe von Geranium zonale, welche ihm am Tage blau vorkam, und die in Wirklichkeit purpurn ist, bei Kerzenlicht in einer rothen „der blauen ganz entgegengesetzten“ Farbe erschien. Dalton war unempfindlich gegen das langwellige Ende des Spektrums, er war „rothblind“ und glaubte seine Anomalie damit zu erklären, dass sein Glaskörper blau gefärbt wäre.

Seitdem wurde es üblich, die Beobachtungen an Farbenblinden für die Theorie des Zustandekommens der Farbenempfindung überhaupt zu verwerthen.

Im Folgenden sei mir gestattet die herrschenden Ansichten über das Zustandekommen der Farbenempfindung in ihrer Bedeutung für die Erklärung der Farbenblindheit zu schildern. Vornehmlich wird zu berücksichtigen sein die Dreilaser-Theorie von Young-Helmholtz und die Theorie der Gegenfarben Herings. In ihren Grundzügen sollen auch die Modifikationen der Einen und Andern Berücksichtigung finden.

---

### **Die Dreifaser-Theorie von Joung-Helmholtz.**

Thomas Joung stellte im Jahre 1807 zunächst die Dreifarben-Theorie auf, welche von dem Engländer Maxwell und von Helmholtz modificiert fast ein Jahrhundert lang die alleinherrschende war und nur in der neuesten Zeit anfang vorübergehend verdrängt zu werden. Aber auch heute noch zählt sie sehr zahlreiche Anhänger und gewinnt, wie mich dünkt, wieder mehr an Boden. Man stelle sich übrigens, wie man will, zu der Joung-Helmholtz'schen Theorie, so wird doch jeder ihre grosse Bedeutung anerkennen; W. Preyer<sup>1)</sup> widmet ihr folgende Worte: „Die Verteidigung und Bekämpfung dieser bald hundert Jahre alten Hypothese hat zu der Entdeckung so vieler neuer Thatsachen und zur Erfindung so feiner Methoden geführt, dass eine ausführliche Darstellung ihrer Schicksale seit dem Jahre 1800, da sie der geniale Thomas Joung aufstellte, bis heute eine dankenswerthe Arbeit sein würde“.

Betrachten wir ein Sonnenspektrum, so finden wir eine fast unbegrenzte Zahl von Farbentönen und Nüan-

1) W. Preyer. Zur Geschichte der Dreifarbenlehre. Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane XI. 5-6

een, die allmählich in einander übergehend uns in ihrer Gesamtheit das prächtige Farbenband des Spectrums präsentieren. Wie ist nun die Wahrnehmung so zahlreicher verschiedener Farben möglich? Wir können uns unmöglich vorstellen, dass für jede qualitativ verschiedene Farbenempfindung eine besondere Nervenfaser da sei, die die Leitung in's Central-Organ bewerkstelligen solle. Aus diesem Grunde sah sich Thomas Joung veranlasst das Zustandekommen der physiologischen Wahrnehmung so zahlreicher Varianten zu erklären durch subjective Mischung aus 3 physiologischen Grundfarben, für welch' einzelne eine leitende Nervenfaser der Netzhaut im Sinne der specifischen Sinnesenergie angenommen wurde. So erklärte sich Joung das Zustandekommen jeder Farbenempfindung als bedingt durch die Leitung in diesen drei hypothetischen Fasern, wobei die Erregung einer Faser allein der Empfindung einer Grundfarbe entsprach, während die Erregung zweier Fasern eine Mischfarbe (Mischempfindung) hervorbrachte. Dementsprechend sind bei Joung die Farben Roth, Grün und Violett Grundfarben, die übrigen Mischfarben.

Um die Farbenblindheit zu erklären, nimmt Thomas Joung an, dass eine von den Fasern fehlen resp. gelähmt sein müsse, beispielsweise die Roth und Grün leitende Fasern. Soweit Thomas Joung.

V. Helmholtz und Maxwell haben das Verdienst diese Theorie erweitert und umfangreiche experimentelle Untersuchungen zu ihrer Stütze beigebracht zu haben. v. Helmholtz<sup>1)</sup> hatte anfangs noch an den

---

1) v. Helmholtz. Physiologische Optik 1896. Pag. 346

Joung'schen Grundfarben Roth, Grün und Violet festgehalten, in letzter Zeit jedoch nahm er die von Preyer eingeführten Elementar- oder Urfarben an und zwar ein gesättigtes Carminroth, welches sich von dem unreinen Spectralroth durch seine Reinheit unterscheidet und im Spektrum nicht vorkommt; zweitens anstatt des gemischten spectralen Violet Blau (ein Ultramarinblau) und als dritte Urfarbe nicht mehr Grün, sondern Grün-gelb. Es kommt nun durch gleichzeitige Erregung der 3 hypothetischen Fasern, von welchen jede einer Urfarbe entspricht, die Empfindung Weiss zu Stande. v. Helmholtz veranschaulicht diesen Vorgang graphisch, den Kurven jedoch noch die alte Auffassung von Thomas Joung zu Grunde legend (Physiol. Optik pag. 346).

„Das einfache Roth erregt demnach stark die rothempfindenden, schwach die beiden anderen Faserarten; Empfindung: roth.

Das einfache Gelb erregt mässig stark die roth- und grünempfindenden, schwach die violetten; Empfindung: gelb.

Das einfache Grün erregt stark die grünpempfindenden, viel schwächer die beiden anderen Faserarten; Empfindung: grün.

Das einfache Blau erregt mässig stark die grün- und violetempfindenden, schwach die rothen; Empfindung: blau.

Das einfache Violet erregt stark die Gleichnähmigen, schwach die anderen Fasern; Empfindung: violet. Die Erregung aller Fasern von ziemlich gleicher Stärke giebt die Empfindung von Weiss oder weissliche Farben.“

Auf Grund dieser Vorstellung von dem Zustandekommen der Farbenempfindungen, wird die Farbenblindheit eingetheilt in:

- A. Totale Farbenblindheit, wobei zwei Faserarten fehlen oder gelähmt sind; es wird keine Farbe gesehen.
- B. Partielle Farbenblindheit und zwar:
  - a) vollständig partielle Farbenblindheit, die ihrerseits sein kann eine

- α. Rothblindheit
- β. Grünblindheit
- γ. Violetblindheit

je nach dem die roth-, grün- oder violetempfindenden Fasern der Netzhaut fehlen oder gelähmt sind.

- b) Unvollständig partielle Farbenblindheit, eine Anomalie, bei welcher die Netzhautelemente gleichsam paretisch sein sollen.

Es kommt demnach die Empfindung Weiss beim Rothblinden zu Stande durch gleich starke und gleichzeitige Erregung der grün- und violetempfindenden Fasern. Aubert<sup>1)</sup> macht, wie mir scheint, mit Recht den Vorschlag die Fasern nicht als roth-, grün-, violetempfindenden zu bezeichnen, da eine solche Bezeichnung leicht zu falschen Vorstellungen führen könnte. Er braucht den Ausdruck roth-, grün-, violet-leitende Fasern. Denn Nervenfasern empfinden nicht. Dieser Bezeichnung wollen wir uns anschliessen.

Um die Erscheinungen der Farbenblindheit zu erklären, genügte die Joung-Helmholtz'sche Theorie in vielen Fällen nicht. Infolge dessen erfuhr sie im Laufe der Zeit vielfach Aenderungen von zahlreichen Forschern.

Fast um dieselbe Zeit, wo der geniale Thomas Joung, fassend auf den Entdeckungen Newtons, seine Hypothese aufstellte, übergab Goethe<sup>2)</sup> „seine Farbenlehre“ der Oeffentlichkeit (1808--1810).

1) Aubert. Physiologie der Netzhaut 1865.

2) Goethe, Zur Farbenlehre 1808--1810.

Nicht unberechtigt war das Aufsehen, welches dieses Werk besonders in Deutschland machte. Goethe's Erklärung ist das Gegenteil von der Anschauung Newtons, Young's etc. Goethe sammelt Thatsachen und Erfahrungen, trägt diese eifrig zusammen, um aus ihnen die Wahrheit zu erkennen. Er lässt sich auf physikalische Erklärungen nicht ein, sondern behandelt den Stoff mehr vom Standpunkte eines Künstlers, verharrend auf rein sinnlichen Gebieten. Daher die Polemik gegen Newton und seine Lehre.

Nach Goethe's Auffassung giebt es nur zwei reine oder eigentliche Farben, Gelb und Blau, während Roth nur eine Farbeigenschaft ist, die jeder der beiden Farben zukommt und durch Verdunkelung oder Verdichtung derselben entstanden gedacht wird.

Trotz der Verstösse, die in seinem Werk gegen die physikalische Forschung vorhanden sind, verdient es schon wegen der zahlreichen richtigen Beobachtungen Bewunderung. Die modernen Theorien sind in mancher Beziehung Wiederholungen der Goethe'schen Anschauungen. So ist die neuere Auffassung der inneren Natur der Farbe nichts als eine Wiederholung des Goethe'schen Gedankens. Ebenso war Goethe der Erste, welcher das in neuerer Zeit von vielen Autoren so sehr betonte Gesetz von den antagonistisch wirkenden Farben erkannte.

Roth und Grün, Blau und Gelb sind nach Goethe Gegensätze, „feindselige“ Farben, denn sie mischen sich nicht mit einander, sondern zerstören einander. So giebt Roth und Blau eine deutliche Mischempfindung, Roth und Grün dagegen geben keine Mischempfindung, sondern heben sich auf zu Weiss resp. grau.

Goethe berührt auch die Frage der Farbenblindheit, die er als „Akyanoblepsie“ bezeichnet und sucht die Frage zu lösen, wie ein Farbenblinder die Welt sieht. Nach Goethe verwechselt der Farbenblinde gelbe und grüne Farbentöne einerseits, rosa, blaue und violette Farbentöne andererseits. Das sehen wir dargestellt auf der Landschaft, die Zwecks der Demonstration dem Werke beigegeben ist. Sie imponirt uns als Herbstlandschaft mit rosa gefärbten Himmel.

Wir können wohl mit Recht die Goethe'sche Farbenlehre als Vorläufer zu der Vierfarben - Theorie betrachten.

#### **Die Vierfarbentheorie Hering's.**

Nach E. Hering kommt die Empfindung der Farben im Normalauge zu Stande durch eigenthümliche photochemische Zersetzungen in der Retina. Wir können uns diese etwa vorstellen analog dem Process, der sich abspielt auf einer lichtempfindlichen photographischen Platte bei Einwirkung von Licht. Hering nimmt nun in der Netzhaut drei verschiedene Substanzen an: eine schwarz-weissempefindende oder schwarz-weiße, eine roth-grünempfindende oder roth-grüne und eine blau-gelb empfindende oder blau-gelbe. Diese drei chemischen Substanzen sind unter dem Einfluss des Lichtes oder vielmehr der verschiedenen Lichter einer fast beständigen Zersetzung oder Dissimilirung und einer beständigen Erneuerung oder Assimilirung unterworfen. Je nach der Qualität des Lichtes, dass die Netzhaut trifft, wird diese oder jene Sehsubstanz dissimilirt oder assimilirt. Die Dissimilirung und Assimilirung werden weiter in Nervenerregung umgesetzt und diese zum Sensorium geleitet.



Trifft weisses Licht die Netzhaut, so wird die weiss-schwarze Sehsubstanz der Dissimilation unterworfen, man empfindet weiss, die Assimilation der weiss-schwarzen Substanz ruft die Empfindung schwarz hervor. Trifft farbiges Licht die Netzhaut, so wird die entsprechende farbige Sehsubstanz dissimilirt resp. assimilirt. ausserdem aber auch die weiss-schwarze Substanz. Demnach wird der farbigen Empfindung auch etwas Empfindung weiss zugemischt. Dagegen werden die roth-grüne und die blau-gelbe Substanzen von anderfarbigem Lichte nicht afficirt. Diese sogenannten „weissen Valenzen“ der Farben sollen uns nach Hering das Verständniss erschliessen für das Phänomen, warum wir bei geringster Beleuchtungsintensität nur Licht, aber keine Farben wahrnehmen. Umgekehrt haben weisse Lichtstrahlen „farbige Valenzen“ in sich.

Diesen Sehsubstanzen entsprechen die „Urfarben“ Roth, Gelb, Grün, Blau, von denen Roth und Grün, Blau und Gelb antagonistisch wirken und eventuell einander aufheben können, wobei nur die „weissen Valenzen“ zur Geltung kommen können. Anfallend ist, dass nicht auch weiss und schwarz solche Antagonisten sind und dass im Gegenteil gleichzeitige Dissimilierung und Assimilierung in der weiss-schwarzen Substanz die Empfindung Grau erzeugen.

Dieses sind die Grundzüge der Hering'schen Farbenlehre oder Theorie der Gegenfarben. Die Erklärung der Farbenblindheit ergibt sich nach dem gesagten von selbst. Fehlen beider farbigen Sehsubstanzen, der roth-grünen und der blau-gelben, erklärt die totale Farbenblindheit, welche demnach im Gegensatz zur Helmholtz'schen Auffassung eine reine Achromasie ist.

Auf Fehlen der roth-grünen oder blau-gelben Sehsubstanz beruht die partielle Farbenblindheit, welche also eine Rotgrünblindheit oder eine Blaugelbblindheit sein kann.

So elegant und einfach die Hering'sche Theorie uns die Aufnahme des Lichtes in der Netzhaut durch obige photochemische Wirkungsweise erklärt, so wenig erklärt sie uns die Umsetzung der photochemischen Processe in Nervenirregung. Andererseits wird durch

sie in geradezu bestechender Weise die Physiologie der komplementären oder Gegenfarben erklärt, während sie wiederum in mancher anderer Beziehung im Stiche lässt. So ist es erklärlich, dass im Laufe der weiteren Untersuchungen die Autoren die Hering'sche Theorie zu modifizieren sich bestrebten. Wir wollen die wichtigsten hier kurz anführen.

Ludwig Mauthner<sup>1)</sup> geht von der Erfahrung aus, dass der Dichromatop ein gewisses Blau-grün und ein gewisses Purpur gleich grau sieht und nennt diese Anomalie „Purpur-Blaugrün-Blindheit“ im Gegensatz zu Herings Roth-grünblindheit und zu der Rothblindheit und Grünblindheit von Helmholtz's.

Nach ihm ist diese Purpur-blaugrün-Blindheit eine Blaugelbsichtigkeit oder Xanthokyanopie. Bei dieser Xanthokyanopie findet sich in der Netzhaut eine schwarz-weiße und eine farbige Sehsubstanz. Auf die farbige Sehsubstanz wirkt bei der Xanthokyanopie das rothe, gelbe und grüne Licht dissimilierend, das blaue assimilierend. Die Dissimilationsfarbe ist Gelb, die Assimilationsfarbe ist Blau. Mauthner teilt demnach die Farbenblindheit ein in

1. Achromatopie: das Spectrum erscheint farblos.
2. Dichromatopie: das Spectrum erscheint 2 farbig.

Die Dichromatopie kann sein eine

- a) Xanthokyanopie: das Spectrum erscheint gelb und blau;
- b) Erythrochloropie: das Spectrum ist grün und roth.

Die quantitativen Störungen des Farbensinnes bezeichnet Mauthner als Dychromatopie.

1) L. Mauthner, Farbenlehre, Wiesbaden 1894.

Auch Knies<sup>1)</sup> huldigt der Theorie der Gegenfarben, doch differieren seine Anschauungen von denen Hering's wesentlich. Knies benutzt zu seinen Untersuchungen nicht das Spectrum, wie solches in den Spectral-Apparaten sichtbar ist, sondern betrachtet einen weissen Streifen Papiers durch ein Prisma, dessen Ränder farbig erscheinen und ein sogenanntes Streifen-Spektrum geben. In dem Streifen-spektrum imponiren 4 Farben, die paarweise zu einander complementär sind und als Grundempfindungen aufzufassen seien. Die Unterschiede der Hypothese von Knies von der Helmholtz'schen und Hering'schen sind folgende:

Von der Helmholtz'schen unterscheidet sie sich hauptsächlich durch die Annahme von 4 Empfindungsmaxima für Farben beim normalen Farbenunterscheidungsvermögen. Von der Heringschen durch andere Lage derselben im Spectrum, sowie durch die Entbehrlichkeit einer besonderen Schwarzweissempfindung. Die sogenannte Weissvalenz Hering's ist der Anteil der betreffenden Farbe an Complementärweiss. Von beiden Theorien unterscheidet sie sich dadurch, dass die Grundempfindungen keine ein für allemal feststehende Lage im Spektrum haben und auch beim einzelnen Individuum nur etwas Labiles darstellen d. h. unter veränderten Verhältnissen (pathologische Zustände, abnehmende Intensität der Beleuchtung) ihre Lage im Spektrum ändern, resp. zu nur zwei farbigen oder einer einzigen farblosen Empfindung zusammen fliessen können.

---

1) Knies, Ueber Farbenempfindung und Farbenstörungen. Archiv für Augenheilkunde XVII und XVIII.

In neuerster Zeit erfuhr die Theorie v. Hering eine Aenderung durch die Untersuchungen von H. Ebbinghaus<sup>1)</sup>

Ebbinghaus macht den herrschenden Theorien den Vorwurf, dass sie auf rein spekulativer Grundlage stehen, indem sie sich um die anatomischen Verhältnisse der Retina wenig kümmern. Er macht als erster den Versuch die Theorie der Farbenempfindung mit den anatomischen und physiologischen Verhältnissen der Netzhaut in Einklang zu bringen. Ebbinghaus entwickelt seine Theorie im Anschluss an die Untersuchungen Kühne's über den Sehpurpur.

Nach Ebbinghaus kommt das normale Farbsehen zu Stande durch drei lichtempfindliche Substanzen in der Retina, welche in den äussersten Schichten derselben verteilt sind. Die eine von diesen ist die Weisssubstanz, die verbreitetste und zugleich lichtempfindlichste (Weiss-schwarzsubstanz Hering's). Sie absorbiert die Lichtstrahlen fast des ganzen sichtbaren Spektrums, besonders diejenigen mittlerer Wellenlänge, und wird durch sie zersetzt. Empfindung: Weiss oder Grau. Zersetzung und Regeneration dieser Substanz finden beständig statt, wobei auch die Nachbar-Parteien der belichteten Netzhautstelle beteiligt werden. Aber nur die Zersetzung der Substanz giebt den Nervenreiz ab; Die Regeneration bringt keine Nerven-Erregung hervor.

Die zweite Sehschubstanz ist der Sehpurpur. Er ist in den Aussengliedern der Stäbchen und Zapfen vor-

---

1) Ebbinghaus. Theorie des Farbsehens. Zeitschrift für Physiologie und Psychologie der Sinnesorgane Bd. 5.

handen. Der Sehpurpur existirt in zwei Modificationen, in einer rötheren und einer violetteren. Der Sehpurpur absorbiert die Strahlen mittlerer Brechbarkeit gelbroth bis grün. Diese Thatsache steht im Einklange mit der Farbenverteilung im Spektrum der gewöhnlichen Farbenblinden, welche nur Gelb und Blau empfinden. Die Zersetzung des Sehpurpurs in Sehgelb bedingt einerseits eine Helligkeitsempfindung (weisse Valenz Hering's), andererseits die Empfindung Gelb. Zersetzung des Sehgelb erzeugt neben einer Helligkeitsempfindung die Empfindung Blau (Rhythmisirung der Erregung).

Die dritte Sehsubstanz ist hypothetisch (Rothgrünsubstanz) und ist in den Aussengliedern der Zapfen vorhanden. Da ihre Farbe zu der des Sehpurpurs komplementär ist, so erscheinen die Aussenglieder der Zapfen farblos. Diese hypothetische Rothgrünsubstanz ist grün gefärbt und ist möglicher Weise identisch mit der in der Retina des Frosches enthaltenen grünen Substanz. Durch ähnliche Zersetzung dieser Substanz wird die Wahrnehmung von roth und grün erklärt.

Die partielle Farbenblindheit erklärt H. Ebbinghaus in gleicher Weise wie Hering durch Fehlen der farbigen Sehsubstanzen. Während aber die Unterschiede zwischen den sog. Roth- und Grünblinden nach Hering unerklärt bleiben, erklärt Ebbinghaus diese aus dem Vorkommen des Sehpurpurs in den oben erwähnten zwei Modificationen. Die totale Farbenblindheit erklärt Ebbinghaus entweder durch Fehlen der farbigen Substanzen oder durch centralwärts von der Retina bestehende Störungen.

An dieser Stelle müssen wir die Theorie der Farbenwahrnehmung v. Kries's setzen, welche sich bemüht die physiologischen Erfahrungen mit den anatomischen

Verhältnissen der Retina in Einklang zu bringen. Dieser Forscher steht auf dem Boden der Joung-Helmholtz-schen Theorie.

v. Kries <sup>1)</sup>stützt sich auf die anatomisch festgestellte Thatsache, dass in der Retina zweierlei Endapparate zu finden sind, Zapfen und Stäbchen. Dieselben stehen, wie Max Schulze zuerst hervorhob, in einem ganz bestimmten Verhältniss zu einander in der Netzhaut verteilt. In der Fovea centralis sind blos Zapfen vorhanden, die Stäbchen treten in der Umgebung derselben zunächst in geringer peripherisch immer mehr zunehmenden Anzahl auf, während die Anzahl der Zapfen entsprechend abnimmt, so dass schliesslich in der Gegend der Ora serrata beiderlei Endapparate aufhören.

Die Netzhautstäbchen stellen nun nach v. Kries einen lichtempfindlichen, farbenblinden, aber hochgradig adaptionsfähigen Endapparat dar; die Netzhautzapfen dagegen einen farbentüchtigen — trichromatischen — Apparat, der bezüglich seiner Funktion auf eine etwas grössere Lichtstärke angewiesen ist. Diese Anschauung sucht v. Kries zu begründen durch folgende Beobachtungen:

1. Er prüft die Beobachtung Hillebrands <sup>2)</sup> und Herings und findet im Gegensatz zu den genannten Forschern, dass „das Farbloserscheinen schwachen Lichtes von nicht zu grosser Wellenlänge, nicht mehr zu bemerken sei, sobald es sich um kleine

1) v. Kries. Ueber die Funktion der Netzhaut Stäbchen. Zeitschrift für Physiol. und Psychologie der Sinnesorgane 9 1896.

2) Hillebrand Ueber die spezifische Helligkeit der Farben. Sitzungsbericht der Wiener Akad. XCVIII. Abt. 3. S. 70. 1889.

leuchtende Felder handelt, deren Bild vollständig in die Fovea centralis fällt. Hier werde vielmehr mit Ausnahme von einem bestimmten Gelb, jeder Lichtpunkt, sobald er überhaupt wahrnehmbar sei, auch sogleich in seiner Farbe erkannt.“ „Auch das Purkinje'sche Phänomen in seinem ursprünglichen engeren Sinne existiere für die Stelle des deutlichsten Sehens nicht.“

2. Durch die Abweichung vom Newton'schen Farbmischungsgesetz. Nach v. Kries<sup>1)</sup> erklärt sich diese in der Weise, dass mit abnehmender Lichtstärke die Stäbchenfunktion mehr hervortritt: „Die für hohe Intensitäten geltenden Gleichungen werden bei Abschwächung aller Lichter und Dunkeladaptation in dem Sinne unrichtig, dass dasjenige Gemisch, welches die grössere Stäbchenvalenz besitzt, einen Ueberschuss an farbloser Helligkeit erhält.“

3. Durch die Erfahrungen an total Farbenblinden: v. Kries fasst die Monochromaten als „Stäbchenscher“ auf. Dadurch erklärt sich die herabgesetzte Sehschärfe und die Lichtscheu der total Farbenblinden.

4. Durch das Purkinje'sche Nachbild, welches als Stäbchenfunktion gedeutet wird.

Was die Frage der Farbenblindheit betrifft, so schlägt v. Kries<sup>2)</sup> vor die Bezeichnungen „Rothblinde, Grünblinde, Violettblinde“ zu vermeiden, da sie leicht irrige Vorstellungen veranlassen könnten. Statt dessen empfiehlt er für die 3 Kategorien der partiell Farbenblinden die Namen Protanopen (Rothblinde), Deutera-

1) Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane. Bd. IX pag. 102.

2) v. Kries. Ueber Farbensysteme. Zeitschr. für Phys. und Psych. der Sinnesorgane 18.

nopen (Grünblinde), Tritanopen (Violettblinde). Ob diese Bezeichnungen dem besseren Verständniss mehr dienen, wage ich nicht zu entscheiden.

Nachdem wir einen Ueberblick über die herrschenden Theorien der Farbenwahrnehmung und Farbenblindheit gewonnen haben, gehen wir auf unsere speciellen Untersuchungen über.

---



## Specieller Teil.

Einleitend habe ich bereits die hohe Bedeutung der Farbenblindheit für das praktische Leben angedeutet. Prof. F. Holmgreens<sup>1)2)</sup> Verdienst ist es auf die praktische Wichtigkeit der Frage hingewiesen zu haben. Um die Farbenblindheit zu erkennen, sind viele Untersuchungsmethoden angegeben worden. Dieselben hier anzuführen, würde zu weit führen; das Nähere findet sich bei W. Nagel<sup>3)</sup>, wo die praktisch wichtigsten Methoden zur Diagnose der Farbenblindheit übersichtlich dargestellt sind.

### Statistik und Erbliehkeitsverhältniss.

Entgegen der Angabe der Häufigkeit der Farbenblindheit, wie sie in einzelnen Lehrbüchern angegeben ist, bei Vossius 8%, Stilling 5%, findet man einen erheblich geringeren Procentsatz gerade bei der Durchsicht grösserer Statistiken. So hat Hermann Cohn<sup>4)</sup> nur 4% Farbenblinder unter 2429 Schülern in Breslau entdeckt, während er unter 1061 Schülerinnen keine

1) F. Holmgreen. Die Farbenblindheit in ihren Beziehungen zu den Eisenbahnen und der Marine. Leipzig. 1878.

2) Ders. Ueber Farbenblindheit in Schweden. Upsala 1878.

3) W. Nagel. Die Diagnose der practisch wichtigen angeborenen Störungen des Farbensinnes. Wiesbaden, 899.

4) H. Cohn. Hygiene des Auges. 1892. pag. 711.

einzigste Farbenblinde fand. Holmgreen<sup>1)</sup> fand unter 2220 Soldaten 60 Farbenblinde = 2,7%; darunter waren 11 Rothblind, 17 Grünblind, 1 Violettblind und 31 unvollständig farbenblind. Rickerton<sup>2)</sup> fand 3,85% der Männer farbenblind. Nach der grossen Statistik von Deneffe<sup>3)</sup> aus dem Jahre 1887 waren unter 203,383 Leuten 4640 Farbenblinde = 2,28% und zwar kamen auf 45 Männer 1 Frau. Nach Ricchi<sup>4)</sup>, der 45000 Menschen untersuchte, waren 2,2% farbenblind. B. Kolbe<sup>5)</sup> fand in Russland unter 10000 - 13000 Leuten 84 Farbenblinde = 0,84%. Im Allgemeinen dürfte man mit Cohn in Europa kaum mehr als 3% Farbenblinde annehmen. Frauen sind bedeutend seltener farbenblind als Männer.

Ich untersuchte die Schüler und Schülerinnen der verschiedenen hiesigen Lehranstalten gemeinsam mit meinem Collegen Herrn Dr. Werneke, für dessen Hülfe ich ihm an dieser Stelle meinen Dank ausspreche. Wir fanden unter 481 Schüler 3 partiell Farbenblinde, von denen 1 „Rotblind“, 2 sogenannte „Grünblinde“ waren = 0,6%. Dagegen fanden wir unter 286 Schülerinnen keine Farbenblinde.

Die Farbenblindheit ist erblich und zwar kann sie nach den Untersuchungen Horner's<sup>6)</sup> vom Gross-

1) Holmgreen. Ueber die Farbenblindheit in Schweden Upsala 1878.

2) Rickerton. Colour blindness. The British Medical Journal. 1887.

3) Deneffe. De la perfectibilité du sens chromatique dans l'espèce humaine. Progrès médical 1888.

4) Ricchi. Gesichtsanomalieen bei 45000 Individuen. 1894. Centralblatt für pract. Augenheilkunde. S. 556.

5) Kolbe. Untersuchungen der Farbenblindheit in Russland. Wratsch 1882.

6) Horner. Erblichkeit des Daltonismus. 1878. Zürich.

vater durch die normal farbenempfindende Tochter auf den Enkel übertragen werden. Herrmann Cohn<sup>2)</sup> fand in 6% der Fälle Verwandschaft der Eltern. Ich habe im Ganzen 10 farbenblinde Männer untersucht. Bei 5 von diesen konnte anamnestic nichts festgestellt werden, von 3 erfuhr ich, dass jeder von ihnen angeblich noch einen farbenblinden Bruder hätte. 2 von den Untersuchten sind Brüder, beide haben ein verkürztes Spektrum und konnten mir sicher angeben, dass sie noch einen 3. farbenblinden Bruder hätten: ihr Grossvater mütterlicherseits und ein Urgrossonkel väterlicherseits wären ebenfalls farbenblind gewesen.

#### **Die Untersuchung am subjectiven Spectrum.**

Zur Untersuchung haben sich mir im Ganzen zehn Herrn zur Verfügung gestellt, die sämtlich partiell farbenblind waren, u. denen ich an dieser Stelle meinen Dank ausspreche.

Die Untersuchung wurde zunächst am gewöhnlichen Bunsenschen Spectroscop gemacht bei diffusem Tageslicht und zwar in der Weise, dass gleich nach der Untersuchung des Farbenblinden am Spectroskop Herr Prof. Raehlmann oder ich die Befunde an unseren eigenen farbentüchtigen Augen notirten. Der Vergleich mit dem Normalauge musste herangezogen werden, um die Untersuchung in jedem Falle einigermaßen von der Beleuchtungsintensität unabhängig machen zu können, zumal die Untersuchung der Fälle nicht immer zur selben Tageszeit und bei gleicher Beleuchtung statt finden konnte. Es wurden notirt für jeden einzelnen die Ausdehnung des Spectrums d. h. die äussersten Grenzen desselben, und die Trennungslinie der beiden

2) Cohn. Hygiene des Auges. 1892. pag. 742.

gesehenen Farben (Königs Neutralen Punkt). Darauf wurde die Beleuchtungsintensität durch Verengerung des Spaltes vermindert, aber nur so viel, dass das farben-tüchtige Auge immer noch die Farben unterscheiden konnte, und dann dieselben Grenzen wiederum von den Farbenblinden an der Scala abgelesen, die Befunde mit dem Normalauge verglichen und notiert. Es konnte so folgendes konstatiert werden: An unseren farben-tüchtigen Augen fanden wir eine Ausdehnung des Spectrums etwa von der Fraunhofer'schen Linie B gerechnet bis fast zur Linie H. Die hellste Stelle für uns lag im Gelb c. an der Linie D.; die Trennungslinie der Farben Grün und Blau lag nahe der Linie F., im Allgemeinen etwas zum grün zu. Bei herabgesetzter Beleuchtungsintensität nahm die Ausdehnung des Spectrums an beiden Enden ab, die hellste Stelle und die Trennungslinie rückte nach dem rothen Ende hin. Wir finden in Uebereinstimmung mit früheren Befunden Raehlmanns, dass das Gelb und Grün im Spektrum für das Normalauge bei Abnahme der Beleuchtung sich ausdehnen, während das Roth und Blau sich einengen. Dieser Befund findet sich auch bei den Beobachtungen Waldhauer's<sup>1)</sup> an zahlreichen Farben-tüchtigen. Nach diesen Befunden wird das Normalauge bei starker Beleuchtung mehr roth und blau sichtig, bei schwacher Beleuchtung mehr gelb und grünsichtig.

Die von mir untersuchten Herren zeigten alle eine mehr weniger starke Verkürzung des rothen Spektral-endes, weche nicht mehr als individuelle Schwankung, wie sie nach den Untersuchungen Raehlmanns,

1) Waldhauer. Untersuchung betreffend die untere Reizschwelle Farbenblinder. Inaugural-Dissertation. Dorpat 1883.

Waldhauers u. a., in Normaläugen vorkommt, angesehen werden konnte. Die Verkürzung war am geringsten bei den Herren v. H., Pr., P, und v. A., etwas stärker bei den Herrn stud. v. K. II, stud. S., M. und H. Wurde die Beleuchtungsintensität verringert, so reichte die Verkürzung entsprechend weiter. Die hochgradigste Verkürzung zeigten das Spectrum der Herrn Prof. A. und v. K. I, wo das ganze Roth bis zum Orange (Mitte zwischen den Linien C. und D., näher zu D.) nicht mehr gesehen wurde. Eine ganz ähnliche Beobachtung hat Prof. Holmgreen<sup>1)</sup> an Farbenblinden gemacht. Nach ihm sind die Spektra aller Farbenblinden verkürzt, aber individuell sehr verschieden.

Die hellsten Stellen wurden im Spectrum von den Farbenblinden recht verschieden angegeben; im Allgemeinen lagen sie zwischen den Fraunhofer'schen Linien D und E. Bei herabgesetzter Beleuchtung rückte die hellste Stelle etwas mehr nach D zum langwelligen Ende hin. Die Helligkeitsmaxima der Herren v. K. I und II, H., M. lagen ziemlich in der Mitte zwischen den Linien Ba.  $\gamma$  und E. Bei den Herren v. H., P, Pr. lagen sie zwischen den Linien Ba.  $\gamma$  und D und zwar bei den Herren v. H. und Pr. am meisten nach D zu, etwa dort wo auch das farbentüchtige Auge sie sah. Eine Abweichung zeigten in Bezug auf das Helligkeitsmaximum die Herren Prof. A. und v. A. Herr Prof. A. bezeichnete uns bei intensiver Beleuchtung als hellste Stelle im Spectrum eine Zone grösserer Ausdehnung, die sich zu beiden Seiten der Linie Ba.  $\gamma$  gleich weit erstreckte und fast bis an die Fraunhofer'sche

1) Holmgreen. Ueber den Farbensinn. Berliner klinische Wochenschrift 1884.

Linie E heranreichte; diese Zone engte sich bei herabgesetzter Beleuchtung an beiden Seiten ein wenig ein, wobei dann auch eine allerdings kaum merklich hellere Stelle innerhalb derselben an der Grenze der beiden zur Linie E hin gelegenen Dritteln der Zone auftrat. Ein ähnlicher Befund wurde bei v. A. erhoben, doch bezeichnete dieser Herr als hellste Stelle eine viel grössere und gleichzeitig zum langwelligen Ende hin verschobene Zone, welche etwa von der Mitte zwischen mittleren und äusseren Drittel zwischen Ba  $\gamma$  und E bis über D hinaus zum Roth zu sich erstreckte. Auch diesem Herrn imponirte bei herabgesetzter Beleuchtungsintensität eine Stelle dieser Zone etwa in der Mitte zwischen den Linien Ba  $\gamma$  und D als eine Spur heller. Die Helligkeitsmaxima liegen demnach bei unseren 10 Farbenblinden theils im Grün, theils im Gelb,

Die bisherigen erhobenen Befunde am Spectrum sind, was die Lage des Helligkeitsmaximums betrifft, wenn wir von den Beobachtungen bei Herrn Prof. A. und Herrn v. A. absehen, in Uebereinstimmung mit den Untersuchungsergebnissen vieler Autoren. Letztere haben hauptsächlich die Aufstellung der beiden Typen der Farbenblinden veranlasst. So findet Donders<sup>1)</sup> ganz ähnlich unseren Beobachtungen die Lage der Helligkeitsmaxima im Spectrum bei den sogenannten Grünblinden und Rothblinden verschieden, indem bei den ersten das Helligkeitsmaximum im Gelb liegt ( $\lambda = 590$ ), bei letzteren im Grün ( $\lambda = 570$ ). Das nämliche fand Pflüger<sup>2)</sup>, Holmgren u. a. Vor Donders hat

1) Donders. Ueber Farbensysteme. Von Graefes Archiv für Ophthalmologie XXVII. 1.

2) Pflüger. Archiv für Augenheilkunde von Knapp und Hirschberg. IX. 4. Beobachtungen an Farbenblinden.

Raehlmann<sup>1)</sup> in den siebenziger Jahren dasselbe nachgewiesen, sodann Ricco<sup>2)</sup>, J. Stilling<sup>3)</sup>, Hochecker<sup>4)</sup>, Preyer<sup>5)</sup> u. a. abgesehen von den neueren Forschern.

Wenn für das farbentüchtige Auge die Feststellung der Trennungslinie zwischen dem spektralen Grün und Blau erhebliche Schwierigkeit bereitet, so scheint dieses dem Farbenblinden unverhältnissmässig leichter zu sein. Hier konnte das Phänomen des Wanderns der Trennungslinie bei sinkender Beleuchtungsintensität konstatiert werden; im Allgemeinen lag die Trennungslinie der Farbenblinden relativ weiter zum Blau. Aus ihrer Lage im subjektiven Spektrum liessen sich aber mehr weniger scharfe Typen der Farbenblinden nicht ableiten. Diese Beobachtung steht im besten Einklange mit der A. Königs<sup>6)</sup>, welcher genau die Wellenlänge der Lage der Trennungslinie (neutraler Punkt) bei zehn Farbenblinden bestimmt hat und zu dem Resultate kam, dass aus der Lage der Trennungslinie eine scharfe Trennung der „Roth- und Grünblinden“ nicht erreicht wird. Nach den Untersuchungen Königs, Hering's<sup>7)</sup> u. a. wäre

1) Raehlmann. Beiträge zur Lehre vom Daltonismus und seiner Bedeutung für die Young'sche Farbentheorie. v. Graefes Archiv für Ophthalmologie. XIX. 3.

2) Ricco. Studio di un caso di daltonismo. Annali di Oculism. V.

3) Stilling. Beiträge zur Lehre der Farbenempfindungen. Zehender M.-B. Beilageheft I und II.

4) Hochecker. Ueber angeborene Farbenblindheit. Von Graefes Archiv. XIX. 2.

5) Preyer. Ueber anormale Farbenempfindungen und die physiolog. Grundfarben. Pflügers Archiv. I.

6) A. König. Farbensehen und Farbenblindheit. Physiol. Gesellschaft zu Berlin 1885.

7) Hering. Ueber den Einfluss der Macula lutea auf spectrale Farbengleichungen. Pflügers Archiv Bd. 54. p. 275–312.

solches als Folge des Macula Pigments anzusehen, das dort in einer individuell sehr stark schwankenden Menge vorhanden ist.

Die von den Autoren gefundene Verlängerung des kurzwelligen Spektralendes bei Rothblinden war auch bei meinen Fällen vorhanden. Die relative Verlängerung erschien auch ausgesprochener bei verminderter Beleuchtungsintensität. Aber auch die Verlängerung des violetten Spektralendes in unseren Fällen liefert keine genügende Charakterisirung zweier eng umschriebener Gruppen von Farbenblinden im Sinne der „Roth- und Grünblinden“ der Autoren. Die Verlängerung des Spektrums kann infolge dessen nur einen allgemeinen Werth für die Auffassung der Farbenblindheit als solche haben. Einzelne von den Herrn gaben an der Trennungslinie eine kleinere oder grössere Zone an, die sie als „grau“ oder „Schmutzfarbe“ bezeichneten, so die Herren v. A., P., H., eine von den Autoren vielfach beschriebene und im Sinne der Grünblindheit zu deutende Beobachtung. Ob diese Deutung richtig ist, geht aus meinen in dieser Beziehung **unvollständigen** Untersuchungen nicht hervor, wenigstens **nicht mit** Sicherheit; im Gegentheil giebt H., welcher ein relativ stark verkürztes Spectrum hat, ebenfalls an eine graue Zone zu sehen. Eine ähnliche Beobachtung ist auch von Waldhauer <sup>1)</sup> gemacht worden. Darin heisst es: „das subjective Farbenunterscheidungsvermögen der Farbenblinden einer Kategorie ist ein äusserst verschiedenes. Unter 8 Farbenblinden lag bei 6 die hellste Stelle im Orange und bei zweien, von denen der Eine ein stark verkürztes rothes Spektralende zeigte, im Hellgrün, recht bedeutend nach dem violetten Ende hin

<sup>1)</sup> Waldhauer. Inaugural-Dissertation 1883.



verschoben. Auch sieht er bei schwacher Beleuchtung eine schmutzige Farbe vor dem Beginn seines Blau in der Mitte zwischen der Thalliumlinie und F (die beiden letzten Fälle sehen das)“.

Unter den bisher berücksichtigten Prüfungsergebnissen sind es also nur die Helligkeitsmaxima, deren Lage im subjectiven Spektrum eine Trennung der untersuchten Farbenblinden in zwei Gruppen gestattet. Bei den Dichromaten mit stark verkürztem rothem Spektralende war regelmässig das Maximum der Helligkeit nach dem Kurzwelligen, bei denen mit wenig verkürztem Spektrum dagegen nach dem langwelligen Ende relativ zum Normalauge nach rechts verschoben.

Was endlich die subjective Bezeichnung der gesehenen Spektralfarben betrifft, so geben alle zehn Dichromaten an zwei Farben zu sehen, zu beiden Seiten der Trennungslinie eine.

v. K. II	bezeichnet d. Farben als:	braunroth-orange u. blau
v. K. I	„ „ „ „	„ gelb und blau.
v. A.	„ „ „ „	„ orange und blau.
Prof. A.	„ „ „ „	„ gelb und blau.
v. H.	„ „ „ „	„ orange und blau.
H.	„ „ „ „	„ röthlichgelb und blau.
P.	„ „ „ „	„ hellgrün und blau.
S.	„ „ „ „	„ gelb und blau.
M.	„ „ „ „	„ roth und blau.
Pr.	„ „ „ „	„ roth-gelb und blau.

Diese Thatsache, dass die Dichromaten im Spektrum nur zwei Farben nennen, führte zur berechtigten Annahme, dass innerhalb jeder dieser Farben nur Helligkeitsunterschiede wahrgenommen werden. Ob innerhalb jeder dieser Farben neben den Helligkeitsunterschieden noch Unterschiede des Tones wahrge-

nommen werden, liess sich ohne weiteres nicht entscheiden. Hier müssen wir den Begriff Farbenton und Farben-Nuance, um Missverständnissen aus dem Wege zu gehen, näher präcisieren. Wir wollen uns der Terminologie, die Grassmann, v. Helmholtz, Maxwell, Aubert<sup>1)</sup> eingeführt haben, bedienen. „Demnach ist Farbenton die Skala der Empfindungen, welche von der Wellenlänge der Aetherschwingungen oder von dem Verhältniss, in welchem zwei Pigmente gemischt werden, abhängig sind. Für die Empfindungen, welche die Mischung einer Farbe mit Weiss oder Grau und Schwarz hervorbringt, werden wir die Bezeichnung Farben-Nuancen gebrauchen. Drittens werden wir den Eindruck, welcher von der Intensität der Farben, also bei Spectralfarben von der Schwingungsexkursion, bei Pigmenten von der Intensität der Beleuchtung abhängig ist, als Farbenintensität bezeichnen. v. Helmholtz nennt dieses „Lichtstärke“.

Die Anschauung, dass der Dichromat keine verschiedenen Töne im Spectrum wahrnimmt, sondern nur Farbenintensitäten an jeder Seite des Spektrums, ähnlich wie der total Farbenblinde im ganzen Spectrum, ist in neuerer Zeit durch die Untersuchungen Uthoffs, Königs und Dietericis, Brodhuns, v. Kries's unhaltbar geworden. Diese Autoren haben durch umfangreiche Untersuchungen farbentüchtiger und farbenblinder Augen am Helmholtz'schen Farbmischungsapparat Gleichungen hergestellt, welche unzweifelhaft darthun, dass die Dichromaten im Spectrum nicht allein Farbenintensitäten, sondern auch Farben-Töne wahrnehmen.

1) Aubert, Physiologie der Netzhant. 1865.

Nach A. König und Dieterici<sup>1)</sup> beschränkt sich allerdings die Wahrnehmung von Farben-Tönen für den Dichromaten nur auf die sogenannten „Mittelstrecken“, während in den „Endstrecken“ nur Intensitätsunterschiede wahrgenommen werden. Total Farbenblinde nehmen nach diesen Autoren keine Töne wahr, sondern nur Intensitätsunterschiede. Spätere Untersuchungen Königs<sup>2)</sup> gemeinsam mit Uthoff und Brodhuu zeigen, dass der Dichromat im Spectrum annähernd ebensoviel Farben-Töne wahrnimmt wie der Trichromat; es wurden rechnerisch 140 verschiedene Farben-Töne beim Dichromaten Brodhuu festgestellt; 160 verschiedene Töne beim normalen Trichromaten Uthoff.

Ferner stellte v. Kries<sup>3)</sup> Farbengleichungen her für 10 Rothblinde und 10 Grünblinde mittelst des von König modifizierten Helmholtz'schen Farbenmischungsapparat, Gleichungen zwischen Li-Roth und Na-Gelb, aus denen sich eine scharfe Trennung der Farbenblinden in zwei Kategorien ergibt. Ähnliche Gleichungen wurden bereits von Donders bei Dichromaten zwischen Li Roth und Na Gelb gefunden.

Um nun Farben-Gleichungen herzustellen, schlug mir Herr Prof. Raehimann<sup>4)</sup> vor nach seinem Vor-

1) A. König und Dieterici. Grundempfindungen im normalen und anomalen Farbensystem und ihre Intensitätsverteilung im Spektrum. Zeitschrift für Physiologie und Psychologie der Sinnesorgane. 1892. IV.

2) A. König. Ueber die Anzahl der unterscheidbaren Spektralfarben und Helligkeitsstufen. Zeitschrift für Physiol. und Psychologie der Sinnesorgane. VIII.

3) v. Kries. Ueber Farbensysteme. Zeitschrift für Physiologie und Psychologie der Sinnesorgane 1897.

4) v. Graefe's Archiv Bd. XXI. 2. p. 23.

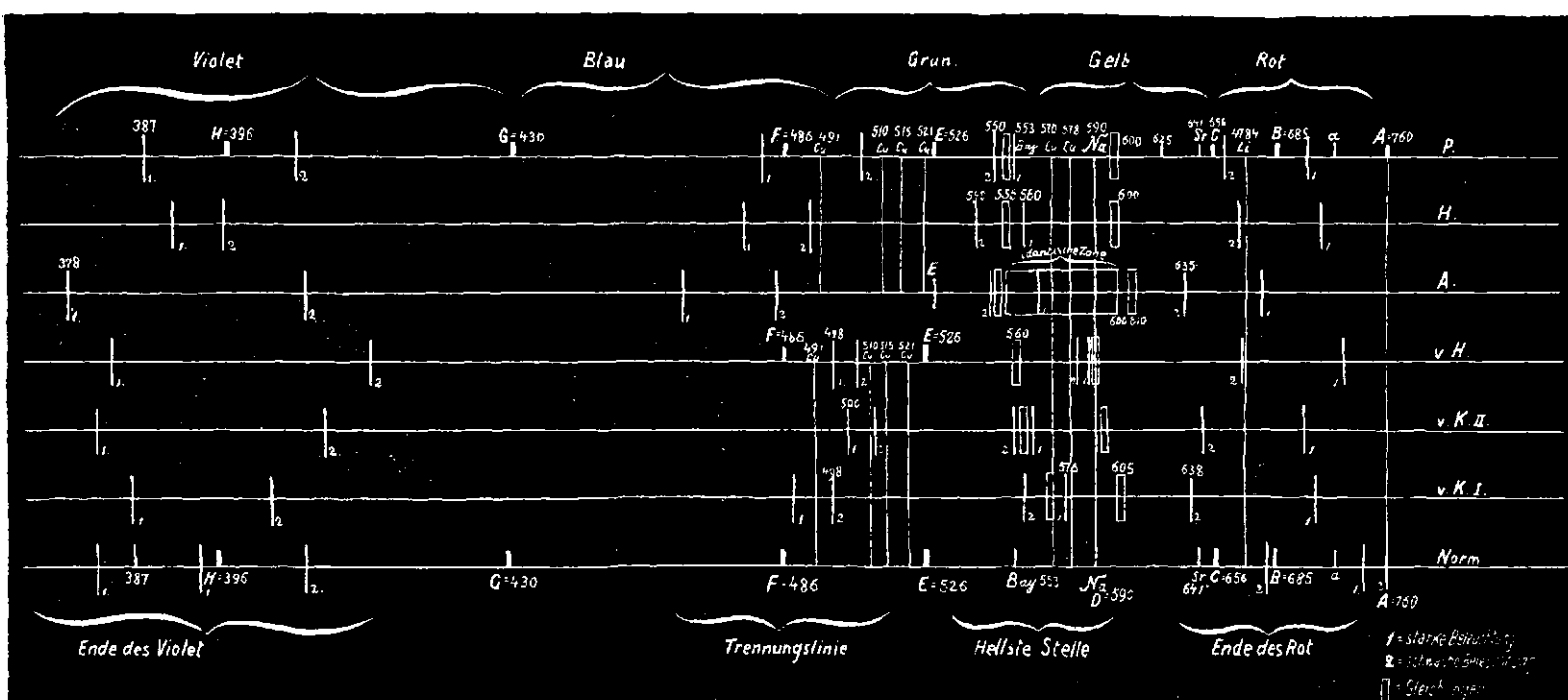
gange die Farben aus dem Spectrum zu isolieren, um sie vergleichen zu können und rieth mir die Untersuchung am objektiven Spectrum so zu machen. Dass man an demselben weit besser und sicherer experimentieren kann, liegt auf der Hand.

#### Untersuchung am objektiven Spectrum.

Herr Dr. Kossacz, Assistent am hiesigen physikalischen Kabinet, hatte die Güte mit Genehmigung des Herrn Prof Sadowsky das Dispersions-spectrum einer Bogenlichtflamme von 500 Kerzen Stärke in der Ausdehnung von c.  $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$  Meter Länge auf einem Aufangeschirm, an dem mittelst Heftnägeln ein mattes weisses Papier befestigt war, zu entwerfen. An diesem objektiven Spectrum wurden nun, nachdem die Na-Linie, die Cu-Linien und die Li-Linie, markirt waren, sechs von den oben genannten Dichromaten in ähnlicher Weise wie am Spectroskop untersucht.

Die Untersuchung wurde auch hier bei starker Intensität und schwacher Intensität — das Normal-Auge konnte noch Farben unterscheiden — in der Weise vorgenommen, dass jeder von den zur Untersuchung erschienenen Herren: P, H., Prof. A., v. H., v. K. II, v. K. I, die Grenzen des Spektrums, das Helligkeitsmaximum und die Trennungslinie mit einem verschiedenfarbigen Bleistift markirte. Ein Blick auf die Tafel orientirt uns schnell über die gefundenen Verhältnisse.

# Untersuchungsergebnisse am objectiven Spectrum.



Auch hier ist die Verkürzung des rothen Spectralendes am ausgesprochensten bei den Herren Prof. A., v. K. I und v. K. II. Bei Prof. A. reicht sie bei herabgesetzter Intensität über C hinaus bis  $\lambda$  635. Die geringste Verkürzung zeigt das Spectrum v. H's., welches hier wenig v. Normalauge abweicht. Im Allgemeinen tritt die Verkürzung am objektiven Spectrum infolge der kolossalen Lichtintensität nicht so sehr hervor wie am relativ lichtschwachen subjectiven Spectrum.

Die Helligkeitsmaxima lagen im Gelbgrün bis Grün (bei schwacher Lichtintensität); nur das Helligkeitsmaximum v. H's. lag im Gelb, bei starker Intensität hart an der Na-Linie.

Die Trennungslinien lagen bei den genannten Herren bei starker Intensität theils jenseits der Linie F, theils diesseits derselben d. h. zum Roth hin; bei herabgesetzter Beleuchtung rücken alle Trennungslinien zum Grün hin d. h. das spektrale Blau breitet sich bei herabgesetzter Lichtstärke auf Kosten des Roth aus.

Auch das objektive Spectrum zeigt bei den genannten Herrn eine geringe Verlängerung relativ zum farbentüchtigen Auge. Die grösste Verlängerung zeigt das Spectrum des Herrn Prof. A.

Diesen Resultaten zufolge können wir, uns stützend auf die Lage der Helligkeitsmaxima und auf die Verkürzung des Spektrums, auf gewisse Kategorien der Farbenblinden schliessen, ähnlich den Resultaten am subjectiven Spectrum. Ob die Kategorien wirklich scharf von einander zu trennen sind, geht aus unseren Beobachtungen indess nicht hervor. Zu ähnlichen Resultaten ist auch R. Hilbert<sup>1)</sup> gekommen, welcher

1) R. Hilbert. Beiträge zur Kenntniss der Farbenblindheit. Archiv für ges. Phys. XXXIII 1884.

ebenfalls eine Reihe Farbenblinder am objektiven Spectrum untersuchte und zu folgenden Schlussfolgerungen gekommen ist: es giebt Rothblinde mit stark verkürztem Spectrum und wenig verkürztem Spectrum — verkürzt ist dasselbe in jedem Falle — und dazwischen giebt es alle möglichen Abstufungen.

#### **Neutrale Stellen\*) im Spectrum d. Dichromaten.**

Die Dichromaten geben, wie wir gesehen haben, im Spectrum ein Helligkeitsmaximum an, welches bei der einen Gruppe mehr im Gelb, bei der anderen mehr im Grün liegt. Sie sehen ferner im Spectrum nur zwei Farben, welche durch die Trennungslinie von einander getrennt sind. Wenn die Meinung richtig wäre, dass sie innerhalb einer Spectralhälfte nur Intensitäts-Unterschiede derselben Farbe wahrnehmen, müssten zu beiden Seiten des Helligkeitsmaximums unendlich viel gleich helle und gleich farbige (d. h. absolut identische) Stellen paarweise angeordnet liegen. Dass dem nicht so ist, haben die Untersuchungen Raehlmanns, Donders', Brodhuns, A. Königs, v. Kries's gezeigt, wie oben bereits erwähnt wurde. Selbige Autoren haben durch Auffinden von Gleichungen (Li Roth und Na Gelb) charakteristische Unterschiede für zwei Kategorien Farbenblinder gefunden, zugleich den Beweis geliefert, dass die Farbenblinden innerhalb einer Spectralhälfte nicht bloß Intensitäts-unterschiede der Farbe, sondern auch zahlreiche Farbentöne wahrnehmen.

Um nun die Dichromaten daraufhin zu untersuchen, liess ich nach der Methode Prof. Raehlmanns<sup>1)</sup>

1) Raehlmann. Ueber relativen und absoluten Mangel des Farbensinnes. Zeitschrift für Augenheilkunde Bd II 1899

\*) Cf. Tafel, pag. 36.

einen Schirm anfertigen von c. 1 Meter Länge und c.  $\frac{1}{3}$  Meter Breite. In diesem Schirm befindet sich eine Oeffnung in Form eines liegenden Rechteckes von c. 25–30 cm. Länge und 11–12 cm. Breite: diese Oeffnung ist mit dünnem Seidenpapier beklebt. Auf der anderen Seite des Schirmes befindet sich eine Schiebervorrichtung mit Blenden, welche es gestattet zwei verticale Spalten von je 3 mm. Breite, so gegeneinander zu verschieben, dass sie immer zu einander parallel bleibend beliebig weit von einander entfernt werden können, ohne dass ein irgendwie störender Spalt sich bildet. Die Schieber und Blenden sind matt schwarz gefärbt. Der Versuch wurde nun in derselben Weise, wie Herr Prof. Raehlmann ihn bei der Untersuchung zweier Dichromaten am objektiven Spektrum anstellte, gemacht: Nachdem das mit den gefundenen Daten versehene Papier vom Schirme abgenommen war, wurden die Dichromaten der Reihe nach aufgefordert hinter den Schirm zu treten, wobei bereits vorher die Schiebervorrichtung so reguliert war, dass die gelbe Na-Linie ziemlich in die Mitte zwischen die beiden zu verschiebenden verticalen Spalten des Schirmes fiel: die Spalten waren ad maximum genähert. Nun wurden die Herrn aufgefordert die Spalten so einzustellen, bis die so isolirten Farben einander absolut gleich wurden. Alsdann wurden die Stellen respektive ihre Wellenlängen in das objektive Spektrum genau eingetragen. Fünf der untersuchten Herrn konnten nur je eine Stelle auf der einen Seite ihres Helligkeitsmaximums als absolut identisch mit einer bestimmten Stelle der anderen Seite einstellen. Bei einer ganz geringen beliebigen weiteren Verschiebung des Spaltes wurde die Gleichung sofort gestört. Bei kei-



nem von den fünf Herrn liessen sich noch andere neutrale Stellen auffinden. Die obige Tafel zeigt uns genau die durch diese neutralen Stellen gelieferten Gleichungen. Die neutralen Stellen liegen meist zwischen Grün und Orange.

Dem gegenüber zeigt Herr Prof. A. ein abweichendes Verhalten, welcher, nebenbei bemerkt, ein sehr geübter und genauer Beobachter ist. Er gab uns eine Zone zwischen den Wellenlängen 555 und 600  $\mu\mu$  an, innerhalb welcher die Spalten beliebig hin und her geschoben werden konnten, ohne die absolute Gleichheit innerhalb dieser Zone zu stören. Dagegen erzeugt die geringste Verschiebung der Spalten über  $\lambda$  555  $\mu\mu$  resp.  $\lambda$  600  $\mu\mu$  hinaus sofort deutliche Ungleichheit. Durch noch weiteres Verschieben der Spalten um c. 10 Wellenlängen weiter auseinander werden 2 neutrale Stellen gefunden, zwischen  $\lambda$  610 und  $\lambda$  550 (Orangeroth und grün). Bei noch weiterem Auseinanderrücken der Spalten tritt weiter sofort Ungleichheit ein und es gelingt nicht mehr noch weitere neutrale Stellen zu finden. Auf besondere Aufforderung innerhalb dieser breiten absolut gleich erscheinenden Zone eine hellste Stelle aufzufinden gab Herr Prof. A. nach einigem Schwanken  $\lambda$  567 als Helligkeitsmaximum an, was seinem Verhalten dem subjectiven Spectrum gegenüber gut entspricht. Möglicher Weise konnte ihn auch die Cupfer Linie ( $\lambda$  570) bei dieser Bestimmung mit beeinflussen haben. Demnach ist statt einer neutralen Stelle bei Herrn Prof. A. in einer Ausdehnung von  $\lambda$  555 bis  $\lambda$  600 eine neutrale Zone gelegen, innerhalb welcher keine Farbentöne wahrgenommen werden; diese Zone repräsentirt gleichzeitig die hellste Stelle des ganzen Spektrums. Zu beiden Seiten von dieser Zone liegen

analog den anderen Dichromaten die neutralen Stellen, je eine an jeder Seite ( $\lambda$  550 und  $\lambda$  610). Diesen sechs Fällen kann man noch die beiden jüngst von Prof. Raehlmann<sup>1)</sup> untersuchten Dichromaten anr., welche auch zu beiden Seiten ihres Helligkeitsmaximums nur eine einzige absolut gleiche Stelle im Spektrum angeben. Nur scheint es, dass die neutralen Stellen dieser Herren etwas nach dem langwelligen Ende des Spektrums hin verschoben lagen (die Herren Dr. R. und Oberlehrer P.) Diese Untersuchungen bestätigen somit die Tatsache, dass die Dichromaten innerhalb der „warmen“ Spektralhälfte nicht nur Intensitätsunterschiede wahrnehmen, sondern auch Farbentöne sehen, wie solches aus den Untersuchungen A. König's u. a. hervorgeht. Die Anzahl der gesehenen Töne ist voraussichtlich individuell eine sehr verschieden grosse, wie der Fall Prof. A. lehrt (vielleicht auch v. A. cf. pag. 29.) Die Lage der neutralen Stellen im Spektrum ist zwar für die meisten Dichromaten verschieden, liefert aber keine bestimmten Kategorien der Farbenblindheit.

Um für eine Gruppierung der Dichromaten weitere Gesichtspunkte zu gewinnen, wurden noch einige Untersuchungsmethoden herangezogen. Es wurden geprüft der Lichtsinn, die Schwellen für Farben, die farbigen Schatten, der Gesichtswinkel für Farben, die Sehschärfe und das Gesichtsfeld, endlich wurden die Herrn noch am Farbenkreisel untersucht. Andere Methoden, wie die Wollproben, die Pulverproben, der Florecontrast etc. etc. mussten leider unberücksichtigt bleiben. Die Herrn, die in lebenswürdiger Weise sich mir zur Verfügung

1) E. Raehlmann. Cf. pag. 38.

gestellt hatten, konnte ich nicht zu sehr in Anspruch nehmen, aus Furcht ihre Geduld zu missbrauchen.

### Lichtsinn und Schwellenwerthe für Farben.

Der Lichtsinn wurde bei den genannten Herrn am bekannten Förster'schen Lichtsinnmesser geprüft. Er ergab im Vergleich zum Normalauge, wie aus der tabellarischen Zusammenstellung ersichtlich ist, durchaus normale Verhältnisse. Die Untersuchung wurde im Dunkelzimmer gemacht nach jedesmaliger Adaptationszeit von  $\frac{1}{4}$  Stunde. Die in der Tabelle angeführten Zahlen geben direkt den an der Skala abgelesenen Werth an.

	Norm	Pr.	M.	S.	P.	v.H.	H.	v. A.	v. K. II.	v. K. I.
Lichtsinn	$3\frac{1}{4}-1$	1	$1\frac{1}{2}-3\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{4}$	1	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	1	$2\frac{1}{3}$
Schwelle für Gelb	$3\frac{1}{4}$	1	$1\frac{1}{2}-3\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	1	$3\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	1	1	$2\frac{1}{3}$
" " Grün	$1-2\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{3}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	$3\frac{2}{3}$	$1\frac{1}{2}$	2	2	$1\frac{1}{4}$	1
" " Blau	2	2	$1\frac{1}{2}$	$2\frac{2}{3}$	$2\frac{2}{3}$	2	$1\frac{1}{2}$	2	2	$1\frac{1}{3}$
" " Roth	$2\frac{1}{2}-5\frac{1}{2}-3\frac{1}{2}$	unter 10	unter 10	12	12	7	11	9	unter 10	$\infty$

Die Schwellen für die Farben wurden auf demselben Wege gewonnen. Auf mattes tiefschwarzes Papier, wurden farbige Papierstreifen von verschiedener Länge und Breite geklebt und am Hintergrunde des Förster'schen Lichtsinnmessers angebracht. Die farbigen Streifen wurden aus den bekannten Heidelberger Papieren ausgeschnitten; dieselben sind bekanntlich unrein, das rothe und grüne Papier enthält relativ viel gelb zugemischt. Die intensiven und möglichst reinen Far-

ben wurden dazu ausgewählt. Die Untersuchung wurde ebenfalls im Dunkelzimmer bei gut adaptiertem Auge vorgenommen; die gewonnenen Werthe in derselben Weise, wie der Werth des Lichtsinnes notirt. Aus der Tabelle geht hervor, dass die Farben gelb, grün und blau annähernd dieselbe Schwelle haben, wie für das farbentüchtige Auge. Für Roth dagegen variiren die Schwellen stark, wir finden grosse Differenzen und geringere Abweichungen vom Normalauge.

Im Allgemeinen können wir unseren Messungen entnehmen, dass die Schwellen für Roth bei denjenigen Dichromaten die grössten Werthe zeigen, deren rothes Spectralende die grössere Verkürzung zeigt. Umgekehrt haben diejenigen Dichromaten, deren Spectrum die geringere Verkürzung zeigt, die kleineren vom Normalauge wenig abweichenden Schwellenwerthe für Roth. Aber diese selben Dichromaten haben keineswegs, wie man nach der Theorie der Gegenfarben annehmen müsste eine von der Norm abweichende Schwelle für Grün.

### Die farbigen Schatten.

Es ist das Verdienst Stillings die Schattenprobe zur Diagnose der Farbenblindheit zuerst verwendet zu haben. Nächst Stilling sind es besonders Holmgreen, Mauthner, Cohn u. a, die Untersuchungen Farbenblinder an den farbigen Schatten angestellt haben.

Farbige Schatten können bekanntlich leicht durch folgende Versuchsanordnung zur Anschauung gebracht werden, „dass man ein Blatt Papier von entgegengesetzten Seiten her gleichzeitig mit abgeschwächtem Tageslicht und mit Kerzenlicht beleuchtet. Das Tageslicht d. h. weisses Licht, welches vom bewölkten Himmel oder von einer von der Sonne beschienenen weissen Fläche oder auch vom Monde kommt, lasse man durch eine nicht zu breite Oeffnung eintreten, damit es deutliche Schatten werfen könne. Dann stelle man auf das Papier irgend einen Körper

(Finger, Bleistift), welcher Schatten wirft. Man wird zwei Schatten erkennen, den Schatten des Tageslichtes und den Schatten des Kerzenlichtes. Der Schatten des Tageslichtes ist beleuchtet vom rothgelben Kerzenlicht, aber nicht vom Tageslicht. Er erscheint in seiner objektiven Färbung nämlich rothgelb. Der Schatten des Kerzenlichtes wird von dem weissen Tageslicht, nicht aber von dem rothgelben Kerzenlicht beleuchtet. Er ist also objektiv weiss, erscheint aber blau, komplementär zur Farbe des Grundes, welche ein weissliches Rothgelb ist, da die nicht beschatteten Theile des Papiers gleichzeitig von dem weissen Tageslicht und dem rothgelben Kerzenlichte beschienen sind. Die Färbungen sind am deutlichsten, wenn man die Stärke beider Lichterquellen so abgleicht, dass die Schatten beider gleich dunkel sind“. (Helmholtz, Physiol. Optik).

Unsere Versuche mit den farbigen Schatten wurden im Dunkelzimmer angestellt. Die Versuchsanordnung war folgende: in dem Fensterladen befanden sich zwei rechteckige Oeffnungen von c. 15 cm. verticaler Länge und c.  $11\frac{1}{2}$  cm. horizontaler Breite. Sie waren  $38\frac{1}{2}$  cm. von einander entfernt und konnten in verticaler Richtung mittelst einer Schiebervorrichtung beliebig verkleinert werden. An den Seiten der Oeffnungen war ein cm. Maass eingezeichnet. In einer gewissen Distanz von dem Fensterladen stand auf einem Tisch ein c. 5 cm. breites Lineal senkrecht und den beiden Oeffnungen im Fensterladen gerade gegenüber in c. 130–140 cm. Entfernung. C. 13–14 cm. weiter vom Lineal entfernt stand ein Auffangeschirm aus weissgrauer Leinwand. Nun konnte man leicht farbige Schatten auf dem Schirm hervorrufen, wenn man vor eine Lichtquelle ein gefärbtes Glas setzte und die zweite kleiner machte bis zu einem gewissen relativen Verhältniss der Oeffnungen zu einander, wo der Contrast am schönsten hervortrat. Die Gläser, die benutzt wurden, um die eine Lichtquelle zu färben, waren ein reines rothes Glas, welches ausser spectrales Roth kein anderes Licht durchliess; ein grünes Glas, welches

leider nicht so rein war, wie das rothe, sondern neben Grün etwas gelbes und rothes Licht durchliess; ein blaues Glas, welches ebenfalls nicht ganz rein war, etwas grün mit durchliess, und ein gelbes Glas, das neben Gelb auch die anderen Farben in geringerem Grade durchliess. Abgesehen vom Roth konnten ganz reine Gläser nicht erhalten werden.

Die Beobachter befanden sich bei jedem Versuch zwischen dem Fensterladen und dem Auffangeschirm; infolge dessen wird unter dem rechten Schatten jedesmal der inducirte gemeint sein; die gefärbte Lichtquelle ist die zur Rechten gelegene.

Setzen wir ein rothes Glas vor die rechte Oeffnung im Fensterladen und verringern gleichzeitig die linke Oeffnung bis etwa  $\frac{1}{4}$ , so sehen wir auf dem röthlich gefärbten Grunde zwei Schatten nebeneinander, die scharf vom Grunde sich abheben und zu einander complementär gefärbt erscheinen. Der linke Schatten ist nur von der rothen Lichtquelle beleuchtet und erscheint intensiv roth, der rechte Schatten, der sein Licht vom weissen Tageslicht erhält, intensiv grün gefärbt. Vergrössern wir nun die weisse linke Lichtquelle allmählich bis zum Maximum, so sehen wir dem entsprechend den farbigen Contrast allmählich abblassen, indem der linke Schatten dunkler und weniger roth wird, während der rechte immer heller und weniger grün gefärbt erscheint. Verringern wir dazu die rothe Lichtquelle, so nimmt der farbige Contrast noch weiter ab und verschwindet schliesslich ganz; wir sehen dann den rechten (Inductions) Schatten überhaupt nicht mehr, den linken ungefärbt als intensiv dunklen bis schwarzen Schatten. Dieses Phänomen tritt bei einem gewissen relativen Grössenverhältniss beider Lichtquellen zu

einander ein, welches uns die Grenze angiebt, wo noch eine Inductions-Empfindung zu Stande kommt.

Es fragt sich nun, wie die Dichromaten sich diesem Experiment gegenüber verhalten? Die genannten Herrn Dichromaten wurden meist an verschiedenen Tagen also auch bei verschieden starkem Licht untersucht, selten waren gleichzeitig zwei Herrn zur Untersuchung erschienen. Es wurden vorher die Lichtquellen so reguliert, dass für das Normalauge eine intensive Contrastempfindung vorhanden war. Das war der Fall, wenn die rechte Oeffnung, welche farbiges Licht einliess, ad maximum geöffnet, die linke Oeffnung, durch welche diffuses Tageslicht einfiel, ungefähr bis auf  $\frac{1}{4}$  geschlossen war. Es wurden die Angaben notirt in Bezug auf die subjective Benennung der Farben, sowohl des Grundes als auch der Schatten; hauptsächlich wurde Gewicht gelegt auf die Grösse der Lichtquellen, bei welcher die Inductionsempfindung beim Dichromaten im Vergleich zu unserem farbentüchtigen Auge auftrat resp. verschwand. Ich habe versucht diese Verhältnisse übersichtlich darzustellen cf. pag. 48, 49, 50.

Was zunächst die Benennungen der Schatten betrifft, so fielen sie bei den verschiedenen Dichromaten im Allgemeinen ziemlich übereinstimmend aus, nur von H. nennt den rothen Schatten orange, abweichend von den andern, die ihn als roth bezeichnen.

Für uns hat jedoch die Frage, wann die Inductionsempfindung bei den Farbenblinden auftritt resp. verschwindet, bedeutend grösseres Interesse. Die Tabelle I giebt uns darüber Aufklärung. Die Herren v. K. I, Prof. A. und H. haben unter den Bedingungen, wo das Normalauge die komplementär zu einander gefärbten Schatten bei rothem Glase sehr intensiv sah, überhaupt

keine Inductionsempfindung: sie sahen den linken Schatten als dunklen Streifen, den inducirten rechten Schatten überhaupt nicht. Der Mangel der Inductionsempfindung ist jedoch nur ein relativer, indem bei stark verminderter weisser Lichtquelle auch bei diesen Herren schliesslich die Contrastempfindung auftritt, wobei der rechte Schatten als subjectiv „bläulich“ gefärbt erscheint. Bei anderen Herren liess sich eine im Vergleich zum Normalauge mehr weniger herabgesetzte Inductionsempfindung nachweisen. Dagegen trat bei den Herren v. H. und Pr. die Induction gleichzeitig wie beim Normalauge auf und verschwand ebenfalls gleichzeitig, bei rothem Glase.



Namen	Farbe des Grundes	Farbe des linken Schattens	Farbe des rechten Schattens	Auftreten resp. Verschwinden der Inductionsempfindung beim Dichromaten	beim Normalauge
v. K. II	gelb	gelb-orange ("viel leicht blau")	blau	wie beim Normalauge gleichzeitig	gleichzeitig
v. K. I	—	roth	blau	beim Normalauge schon neu Lichtquelle erscheint der äußeren Öffnung von 2 cm.	gleichzeitig
v. A	weiss	grün	unbestimmt	wie beim Normalauge gleichzeitig	gleichzeitig
Prof. A.	weiss	roth	blau	wie beim Normalauge gleichzeitig	gleichzeitig
H.	gelblich grau	gelblich	bläulich	ziemlich gleichzeitig	gleichzeitig
v. H.	—	grün	hellblau	gleichzeitig	gleichzeitig
P.	—	grün	Stahlgrau-blau	Induction verschwindet bei maximaler Weisseser Öffnung u. grüner Öffnung v. 10 cm.	gleichzeitig
S.	—	gelbgrün	hellrosa	Induction verschwindet bei maximaler Weisseser Öffnung u. grüner Öffnung v. 8 cm.	gleichzeitig
Pr.	grau	roth	hellroth	gleichzeitig	gleichzeitig

## II. Vor der rechten Öffnung befindet sich ein grünes Glas.

### I. Vor der rechten Lichtquelle befindet sich ein rothes Glas.

Namen.	Bezeichnung des Grundes.	Farbe d. linken Schattens.	Farbe d. rechten Schattens. (Inductionsfrb.)	Auftreten der Inductionsempfindung.	
				beim Dichromaten	beim Normalauge
v. K. II	—	roth b. schwarz	blau	linke Öffnung 4 cm. rechte Öffn. — 7 $\frac{1}{2}$ cm.	linke Öffnung 4 cm. rechte Öffn. — 3 $\frac{1}{2}$ cm.
v. K. I	Hellgrau	dunkel	nicht wahrgenommen.	Keine Induction zu erzielen.	linke Öffnung maximal rechte Öffn. — 3 cm.
v. A.	weiss-grau	roth	blau	linke Öffnung 4 cm. rechte Öffn. c. 3 $\frac{1}{2}$ cm.	linke Öffnung 4 cm. rechte Öffnung 3 cm.
Prof. A.	hell-weiss	dunkel	nicht wahrgenommen.	linke Öffnung 6 cm. rechte Öffn. maximal	durch Vermehren der weissen Lichtquelle überhaupt nicht zum Verschwinden zu bringen.
H.	gelblich-grau	dunkel bis röthlich gelb	nicht wahrgenommen (bläulich).	linke Öffn. — 1 cm. rechte Öffn. — maximal	durch Vermehr. d. weissen Luftq. überh. nicht zum Verschwind. zu bringen
v. H.	gelblich-weiss	orange	blau	Wie beim Normal-Auge gleichzeitig.	
P.	hellgrau	roth	hellblau	linke Öffnung 3 $\frac{1}{2}$ cm. rechte Öffn. — maximal	Bei max. weissen Lichtq. ist die Induction noch vorhanden.
S.	—	roth	hellblau	linke Öffnung — 4 cm. rechte Öffn. — 6 $\frac{1}{4}$ cm.	linke Öffnung — 4 cm. rechte Öffn. — 2. cm.
Pr.	hellgelb	roth	rosa	wie beim Normal-Auge gleichzeitig.	

**III. Vor der rechten Oeffnung befindet  
sich ein blaues Glas**

**IV. Vor der rechten Oeffnung befindet  
sich ein gelbes Glas.**

Namen.	Farbe des Grundes	Farbe des linken Schattens	Farbe des rechten Schattens	Inductions- empfindung tritt auf:	Farbe des Grundes	Farbe des linken Schattens	Farbe des rechten Schattens	Inductions- empfindung tritt auf:
v. K. II	blau	dunkelblau	roth	wie beim Normalauge	n i c h t g e p r ü f t.			
v. K. I	blau	dunkelblau	gelb	"	—	roth	blau	gleichz. w. b. Normalauge
v. A.	weiss	blau	grün	"	n i c h t g e p r ü f t.			
Prof. A.	weiss	blau	gelb	"				
H.	bläulich	blau	gelb	"	gelblich	gelb	bläulich	gleichz. w. b. Normalauge
v. H.	hellblau	blau	orange	"	—	gelb	blau	gleichz. w. b. Normalauge
P.	hellblau	blau	gelblich- roth	"				
S.	grau-blau	blau	gelb	"	n i c h t g e p r ü f t.			
Pr.	hellblau	blau	gelb	"				

Die Untersuchung mit farbigen Schatten liefert uns also einen scharfen Unterschied im Verhalten unserer Dichromaten. Bei zwei Herrn fehlt die Inductionsfarbe bei rother und farbloser Beleuchtung innerhalb weiter Grenzen der letzteren vollkommen, bei anderen ist die Inductionsempfindung herabgesetzt, bei zweien ist sie dagegen genau eben so gross wie beim Normalauge. Diese beiden Dichromaten v. H. u. Pr., welche sich nach der Contrastempfindung gegen Roth durchaus entgegengesetzt wie die anderen Dichromaten verhalten, zeigen bei grünem Glase keine Abweichung von der Norm d. h. sie sehen die Inductionsfarbe genau dann auftreten, wann auch das Normalauge sie sieht. Dieses lässt sich nicht erklären durch die Unreinheit des benutzten grünen Glases; sie müssten denn doch wenigstens eine herabgesetzte Inductionsempfindung zeigen, was nicht der Fall ist.

Bei blauem und gelbem Glase tritt bei allen unseren Dichromaten genau gleichzeitig mit unseren Controllaugen eine Inductionsempfindung auf.

Bei diesem Experiment haben sich also zwei ziemlich gut charakterisirte Typen der Dichromaten herausgestellt: ein Typus, bei welchem bei der gewöhnlichen Versuchsanordnung die Contrastempfindung bei rothem Glase fehlt, der zweite Typus, bei welchem die Contrastempfindung genau so intensiv auftritt wie beim Normalauge. Dann finden wir Fälle, die gleichsam als Zwischenstufen aufzufassen sind und theils dem ersten, theils dem zweiten Typus näher liegen. Nicht im Widerspruch steht diese Gruppierung mit dem Befunde am Spektrum, indem wir dort dieselben Kategorien wiederfinden. In guter Uebereinstimmung damit finden wir auch die Schwellenwerthe für die verschiedenen

Farben. Im Allgemeinen können wir jetzt schon sagen, dass die grössten Schwellenwerthe für Roth bei denjenigen Dichromaten vorkommen, welche ein stark verkürztes Spektrum haben, dass bei denselben das Helligkeitsmaximum im Spektrum nach dem kurzwelligen Ende verschoben ist d. h. am weitesten im Grün liegt, und dass die Inductionsempfindung der farbigen Schatten bei rother und farbloser Beleuchtung fehlt resp. stark herabgesetzt ist. Diesen Dichromaten gegenüber stehen andere, die ein wenig verkürztes Spektrum haben, deren Helligkeitsmaxima mehr zum Gelb hin liegen! Wir finden aber nicht, dass diese für Grün eine höhere Schwelle haben als das Normalauge und dass eine irgend bedeutende Herabsetzung der Inductionsempfindung für farbige Schatten bei grünem Glase vorläge. Bei der Durchsicht der einschlägigen Litteratur über die farbigen Schatten und Contraste habe ich nirgends eine ähnliche Versuchsanordnung gefunden. Woran das liegt, dass die Autoren, die vielfach mit farbigen Schatten experimentierten, das Fehlen der Inductionsempfindung bei gewissen Formen der Farbenblindheit nicht beobachteten, kann ich nicht sagen; es könnte vielleicht an der Anordnung des Experimentes gelegen haben. So finde ich in Cohns Hygiene des Auges 1892. pag. 750 folgende Bemerkung über den Schattenkontrast: „Der Schattenkontrast und die farbigen Schatten werden erzeugt, indem man auf einer weissen Fläche zwei Schatten eines Stabes entwirft und den Stab mit zwei Kerzen, einer einfachen und einer mit farbigen z. B. rothem Glase versehenen beleuchtet. Der eine Schatten erscheint roth, der andere aber erscheint dem normalen Auge in der Contrastfarbe: grün. Wer ihn nicht grün sieht, kann auch keine Rothempfindung haben.“ Vos-

sus schreibt in seinem Lehrbuche der Augenheilkunde Pag. 684: „Hierher gehört z. B. der Florpapierversuch und die Untersuchung mit farbigen Schatten; der Rothgrünblinde sieht dort den Ring auf gelbem Grunde blau, auf rothem Grunde aber nicht in der grünen Farbe, vielleicht blau, auf grünem Grunde vielleicht gelb, oder er sieht ihn grau, ebenso erkennt er die farbigen Schatten nicht richtig.“ Auch v. Michel spricht sich in seinem Lehrbuche Pag. 36 in Bezug auf die farbigen Schatten ähnlich aus; es heisst dort: „Der Rothgrünblinde wird den Schatten bei rothen oder grünen Gläsern entweder einfach für dunkel erklären oder im ersteren Falle für blassgelblich halten, da das rothe Glas auch gelbe Strahlen durchlässt, und im zweiten Falle für blau oder auch für Gelb, weil das grüne Glas blaue und gelbe Strahlen hindurchlassen kann.“ Im Handbuche der Augenheilkunde v. Graefe-Sämisch heisst es Bd. 5 Pag. 1027: „Lässt man Licht durch grüne oder rothe Gläser fallen, so erscheinen nach Stilling die Schatten dem rothblindem Auge einfach dunkel, während bei blauer und gelber Beleuchtung der Schatten jedesmal die Komplementärfarbe zeigt.“ Dass der inducirte Schatten von einem Teil der Dichromaten bei rothem Glase überhaupt nicht gesehen wird, ist auch aus den Stilling'schen Arbeiten nicht ersichtlich; ebensowenig aus den Untersuchungen Mauthners, Holmgreens u. a.

Litteratur: Stilling. Beiträge zur Lehre von den Farbenempfindungen. Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde 1875–76.

Stilling Farbige Schatten bei Tageslicht 1878. Centralblatt für prakt. Augenheilkunde v. Hirschberg. Pag. 124.

Dr. Danilow. Zur Frage der Anomalie des Farbensinnes. Dissert. Petersburg 1880.

Mauthner. Ueber farbige Schatten etc. Wiener med. Wochenschrift Nr. 38.

Charpentier. Etude de l'influence de la coloration sur la visibilité etc. Archiv d'Ophthalm, Tome II 1882

A. Kirsch. Ueber die quantitativen Verhältnisse des simult. Helligkeits- und Farbenkontrastes. Dissert. Leipzig 1890.

### **Distinctionswinkel für farbige Objecte.**

Den kleinsten Gesichts- oder Distinktionswinkel für farbige Objecte haben am Normalauge Plateau<sup>1)</sup> und besonders Aubert<sup>2)</sup> genau bestimmt. Nach den Untersuchungen Aubert's kann man als Norm annehmen einen Gesichtswinkel von 1' für farbige Objecte, doch ist er für Gelb, Roth und Grün im Allgemeinen etwas kleiner als für Blau. Nach den Untersuchungen Chodin's<sup>3)</sup>, welcher farbige Quadrate von 1 cm. Seite durch verschiedene dunkle, rauchgraue Gläser aus der Entfernung betrachtete, werden am frühesten erkannt Gelb, dann Roth, dann Grün, zuletzt Blau. Chodin hat nur am Normalauge seine Untersuchungen gemacht. Nach den Untersuchungen von A. Weber<sup>4)</sup>, welcher mit seinem eigens dazu hergestellten Apparat „Chrom-optometer“ experimentirte, müssen kreisrunde farbige Papiere (Heidelberger Blumenpapier) vom Normalauge

1) Plateau. Poggendorf's Annalen Bd. 20. 1830.

2) Aubert. Physiol. der Netzhaut 1865.

3) Chodin. Ueber die Abhängigkeit der Farbenempfindung von der Lichtstärke. Sammlung physiol. Abhandl. v. Treyer VII. 1. 1877.

4) Weber. Bericht der ophtalm. Gesellschaft zu Heidelberg 1878.

auf 5 Meter erkannt werden: weiss von 3 mm., blau und gelb von 5 mm., roth von 3 mm., und grün von 2 mm. Durchmesser. Nach Donders<sup>1)</sup> muss jedes Farbenquadrat von 1 mm. Seite noch bis 5 Meter Entfernung unterschieden werden. Nach Dor soll auf 5 Meter Distanz 2 mm. grün, 2½ mm. gelb, 3 mm. roth und 8 mm. blau erkannt werden. Ferner liegen von zahlreichen anderen Beobachtern Arbeiten über diesen Gegenstand vor, auf die wir nicht eingehen können, so von Ole Bull<sup>2)</sup>, Cohn<sup>3)</sup>, Kolbe u. a. Erwähnen will ich hier nur noch die neuere Arbeit Uthoffs<sup>4)</sup>, wo mittelst eines sehr genau gearbeiteten Drahtgitters festgestellt wird, dass für das Normalauge der kleinste Gesichtswinkel für alle Spektralfarben gleich ist und zwar c. 1 Minute beträgt, was mit den Befunden Auberts übereinstimmt. Ich habe nach dem Vorgange Herrn Prof. Raehlmanns das Experiment bei d. Dichromaten in der Weise angestellt, dass ich farbige kreisrunde Flächen von c. 1 cm. Durchmesser, die auf einer matten, tiefschwarzen Papierfläche aufgeklebt waren, den Farbenblinden präsentirte und mir die Distanz angeben liess, bei welcher diese Objekte aufhörten als Fläche gesehen zu werden. Die Entfernungen wurden abgemessen und dann der Controllversuch mit dem Normalauge in derselben Weise angestellt. Wir

1) Donders. Quantitative Bestimmung des Farbenunterscheidungsvermögens. Archiv für Ophtalmologie XXIII. 4.

2) Ole Bull. Neue Methode zur numerischen Bestimmung des Farbensinnes. Christiania 1861.

3) Cohn. Vergleichende Untersuchungen der Sehschärfe. Archiv v. Knapp und Schweigger 8.

4) Uthoff. Ueber den kleinsten wahrnehmbaren Gesichtswinkel in den verschiedenen Theilen des Spektrums. Zeitschrift für Physiologie und Psychologie der Sinnesorgane. 1890.

erhielten auf diese Art sehr wohl brauchbare Daten. Betont muss hier werden, dass die Beleuchtungsintensität bei allen Experimenten nicht dieselbe war, indem nicht immer zur selben Tageszeit und bei gleicher Beleuchtung untersucht werden konnte, daher musste jeder Beobachtung ein Controllexperiment seitens des Normalauges angeschlossen werden. Ferner muss ich bemerken, dass alle untersuchten Dichromaten volle Sehschärfe hatten; nur Herr Prof. A. welcher über vollkommen normale Sehschärfe verfügt, hatte, weil seine geringe Myopie nicht korrigiert wurde, eine Sehschärfe von  $\frac{2}{3}$ . Die Resultate der Versuche sind in der beigegebenen Tabelle angegeben; die Zahlen bedeuten die Entfernung in Metern; die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf das Normalauge.

Name.	Gelb.	Grün.	Blau	Roth.
v. K. II.	$6\frac{1}{2}$ ( $6\frac{1}{2}$ )	$6\frac{1}{4}$ (6)	$5\frac{2}{3}$ ( $4\frac{1}{2}$ )	2 ( $6\frac{1}{4}$ )
v. K. I.	$7\frac{1}{2}$ ( $7\frac{1}{4}$ )	$6\frac{1}{2}$ ( $7\frac{1}{2}$ )	$5\frac{1}{2}$ ( $4\frac{2}{3}$ )	3 ( $7\frac{1}{4}$ )
v. A.	wie das Normalauge	$4\frac{1}{3}$ ( $5\frac{1}{4}$ )	$3\frac{2}{3}$ (3)	$5\frac{1}{4}$ ( $5\frac{1}{2}$ )
Prof. A.	wie das Normalauge.	wie das Normalauge.	$8\frac{1}{2}$ ( $7\frac{1}{2}$ )	$6\frac{1}{2}$ (17)
H.	$10\frac{1}{2}$ (9)	10 (6)	$4\frac{1}{3}$ ( $3\frac{1}{4}$ )	$3\frac{4}{5}$ ( $5\frac{2}{3}$ )
v. H.	12 (6)	10 ( $7\frac{1}{4}$ )	$5\frac{1}{4}$ ( $4\frac{1}{2}$ )	$7\frac{1}{4}$ ( $6\frac{1}{2}$ )
P.	wie das Normalauge.	11 ( $11\frac{2}{3}$ )	4 ( $4\frac{4}{5}$ )	4 (3)
S.	$12\frac{1}{2}$ ( $12\frac{1}{2}$ )	$8\frac{1}{2}$ ( $7\frac{3}{4}$ )	8 ( $5\frac{1}{2}$ )	$6\frac{2}{3}$ ( $7\frac{3}{4}$ )
Pr.	Wie beim Normalauge.			
M.	$4\frac{3}{4}$ (4)	$12\frac{3}{4}$ ( $11\frac{1}{2}$ )	$5\frac{3}{4}$ ( $3\frac{1}{3}$ )	$4\frac{1}{2}$ ( $6\frac{1}{5}$ )



Aus dieser Zusammenstellung erhalten wir folgendes Ergebniss. Der kleinste Gesichtswinkel ist bei allen Dichromaten für die Pigmentfarben gelb, grün annähernd der nämliche wie für das Normalauge. Für blau ist derselbe in fast sämtlichen Fällen erheblich kleiner. Für roth dagegen ist derselbe in der Mehrzahl der Fälle grösser als für das Normalauge, in 3 Fällen entspricht er dem Normalauge. Auch hier lassen sich also zwei mehr weniger deutlich ausgesprochene Typen unter den untersuchten 10 Dichromaten finden. Eine ganz scharfe Trennung ist aber hier ebensowenig möglich wie bei den anderen Untersuchungsmethoden. Wie weit hier Fehlerquellen eine Rolle spielen, als Schwierigkeit der Beobachtung an sich, Schwankungen der Beleuchtung, störendes von der Seite in das Auge des Beobachters einfallendes Licht, ist schwer zu sagen. Einen Einfluss auf die Untersuchung kann man ihnen jedenfalls nicht absprechen. Wir können demnach auch hier nur im Allgemeinen den Satz aufstellen, dass diejenigen Dichromaten, deren Spectrum stark verkürzt ist, deren Schwellen für Roth sehr gross sind etc. etc., einen relativ grossen Gesichtswinkel für rothe Objekte haben, einen relativ kleinen für blaue Objekte; ferner dass diejenigen Dichromaten, deren Spectrum nur unbedeutend verkürzt ist, normale Schwellenwerthe für grün, annähernd normale Schwellenwerthe für roth und einen für das Normalauge gleich grossen Gesichtswinkel für rothe und grüne Objekte haben.

#### Die Schschärfe.

Die Schschärfe der Farbenblinden wurde an den gewöhnlichen Snellen'schen Buchstaben-Tafeln geprüft, eine etwaige Refraktionsanomalie wurde durch Gläser corrigirt. Auch hier wurde das Normalauge zum

Vergleich herangezogen. Alle zehn Dichromaten hatten normale resp. übernormale Sehschärfe. Eine Ausnahme bildet nur der Herr Prof. A. mit  $\frac{2}{3}$  Sehschärfe, wie bereits oben erwähnt wurde. Nachdem so die Sehschärfe genau geprüft worden war, wurde dieselbe nochmals geprüft, indem jeder Dichromat durch farbige Gläser hindurch sah. Aus der folgenden Tabelle Pag. 59 ergeben sich die Resultate dieser Untersuchung, wobei die eingeklammerten Werthe sich auf das Normalauge beziehen.

So einfach diese Untersuchung auf den ersten Blick erscheinen mag, so schwierig ist sie in der That. Man lernt rasch die Tafeln auswendig und dann wird es nicht mehr leicht ein sicheres Urtheil zu fällen, ob man einen Buchstaben wirklich deutlich erkennen kann oder nicht. Auch der intelligenteste Beobachter kann sich von diesem — ich möchte sagen — Fehler kaum ganz frei machen. Durch Aufhängen immer wieder verschiedener Buchstaben - Tafeln würde die Untersuchung nur noch complicirter, die Resultate aber kaum besser werden. Immerhin liefert die Untersuchungsmethode brauchbare Resultate.

Es ist eine grosse Reihe Gläser zu diesem Experiment benutzt worden. Leider waren die meisten von ihnen nicht ganz rein, wie das Spectroskop zeigte. Ich will sie hier kurz charakterisieren: ein gelbes Glas, das auch etwas roth, grün, blau und violet durchliess, ein hellgrünes Glas, das neben Grün relativ viel Gelb und weniger roth durchliess; ein dunkelgrünes Glas, das ziemlich rein war; ein hellblaues Glas, das etwas grün und sehr wenig roth durchliess; ein dunkelblaues Glas, das neben Blau auch etwas Grün durchliess; ein hellrothes Glas, das etwas Gelb und Grün durchliess; ein reines dunkelrothes Glas; ein weinrothes Glas, das die anderen Farben auch mehr weniger durchliess.

### Sehschärfe bei verschiedenfarbiger Beleuchtung.

	Normalauge im Durchschnitt	v. K. I.	v. A.	v. K. II.	v. H.	H.	P.	Prof. A.	S.	M.
Visus . . . . .	1.3	1.0	1.5	1.4	1.6	1.6	1.1	$2\frac{1}{3}$	1.2	1.0
Gelbes Glas. . . .	1.3	1.0	1.5	1.1	1.5	1.6	1.1	$2\frac{1}{3}$	1.2	$2\frac{1}{3}$
Hellgrünes Glas . .	1.1	$>1.0$	$>1.0$	1.1	1.3	1.1	$2\frac{1}{3}$ ( $2\frac{1}{3}$ )	$2\frac{1}{3}$	1.1	$2\frac{1}{3}$
Dunkelgrünes Glas .	$2\frac{1}{3}$	$>1.0$	$2\frac{1}{5}$ (?)	$2\frac{1}{3} - 1\frac{1}{2}$	$>2\frac{1}{3}$ ( $>2\frac{1}{3}$ )	$2\frac{1}{3} - 1.0$	$2\frac{1}{7}$ ( $2\frac{1}{5}$ )	$>2\frac{1}{3}$	$2\frac{1}{3}$	$2\frac{1}{7} - 2\frac{1}{5}$ ( $2\frac{1}{7} - 2\frac{1}{5}$ )
Hellblaues Glas . .	$2\frac{1}{3} - 1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2} - 2\frac{1}{3}$	$2\frac{1}{3} - 1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2} - 2\frac{1}{5}$ ( $1\frac{1}{2} - 2\frac{1}{5}$ )	$>2\frac{1}{3}$ ( $>2\frac{1}{3}$ )	$2\frac{1}{3}$	—	$>2\frac{1}{3}$	$2\frac{1}{3}$	$2\frac{1}{7}$ ( $2\frac{1}{7}$ )
Dunkelblaues Glas .	$2\frac{1}{5}$	$2\frac{1}{7}$ ( $2\frac{1}{5}$ ) *	$1\frac{1}{2} - 2\frac{1}{5}$ ( $2\frac{1}{5}$ )	$1\frac{1}{5} - 2\frac{1}{7}$ ( $1\frac{1}{5}$ )	$1\frac{1}{2}$ ( $>2\frac{1}{5}$ )	$2\frac{1}{5}$ ( $1\frac{1}{5}$ )	$2\frac{1}{7}$ ( $1\frac{1}{5}$ )	$>1\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{5}$ ( $2\frac{1}{5} - 2\frac{1}{7}$ )	$1\frac{1}{10}$ ( $1\frac{1}{10}$ )
Hellrothes Glas . .	1.1	$2\frac{1}{3}$	1.1	1.0	1.6	1.0	$1\frac{1}{2}$ ( $1\frac{1}{2}$ )	$>2\frac{1}{3}$	1.0	$2\frac{1}{5}$
Dunkelrothes Glas .	1.0	$1\frac{1}{2}$	1.0	$1\frac{1}{2} - 2\frac{1}{3}$ ( $1.0 - 2\frac{1}{3}$ )	1.1	$2\frac{1}{3}$	$1\frac{1}{2}$ ( $2\frac{1}{5}$ )	$1\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{3}$	$2\frac{1}{5}$ ( $3\frac{1}{5}$ )
Weinrothes Glas. .	1.1	$>1.0$	1.1	$>1.0$	1.1	—	—	—	1.0	—

\*) Die eingeklammerten Werthe beziehen sich auf das Normalauge.  $>$  bedeutet weniger.

Aus dieser Tabelle geht eine ganz gute Uebereinstimmung mit den Resultaten, die durch die vorherigen Methoden erzielt wurden, hervor. Zwei Gruppen Farbenblinder lassen sich hier erkennen. Auch hier ist die Unempfindlichkeit für Roth bei jenen ausgesprochen, welche ein stark verkürztes Spectrum haben etc.; bei denselben Herren wird zugleich eine grosse Empfindlichkeit für Blau constatirt. Aber eine Unterempfindlichkeit für Grün kann auch hier bei keinem der untersuchten Dichromaten nachgewiesen werden.

### Gesichtsfeld.

Es kommt uns in diesem Abschnitte nicht darauf an die physiologischen Funktionen der Netzhautperipherie zu studiren, sondern nur die Grenzen des Gesichtsfeldes für die versch. Farben bei den genannten Dichromaten festzustellen, um die Befunde mit den Resultaten der übrigen Untersuchungen vergleichen zu können.

Bekanntlich hängen die Grenzen des Gesichtsfeldes für weiss, sowie auch für farbige Objekte in hohem Grade ab von der jedesmaligen Beleuchtungsintensität; ferner von dem Farben-Ton und Farben-Intensität, endlich von der Grösse der farbigen Objekte. Es ist somit nur approximativ möglich eine Norm für die Farbengrenzen des Gesichtsfeldes anzusetzen. Wir haben infolge dessen auch hier unser Normalauge zum Vergleich heranziehen müssen.

Ueber die Peripherie der Netzhaut und das Gesichtsfeld sind zahlreiche Arbeiten von verschiedenen Autoren vorhanden. Viele stammen bereits aus dem Ende der 70-er und Anfänge der 80-er Jahre,

so die Arbeiten von Schadow<sup>1)</sup> und Butz<sup>2)</sup>. Dasselbst befindet sich auch eine genaue Literaturangabe über diesen Gegenstand. In neuerer Zeit sind über die Netzhaut-Peripherie vielfache Untersuchungen angestellt worden von Charpentier und Landolt. Nach den Untersuchungsergebnissen von Charpentier<sup>3)</sup> giebt es keine farbenblinde Zone in der Netzhautperipherie. Aus neuester Zeit stammen die Untersuchungen von Guillery<sup>4)</sup> u. a. Alle diese Untersuchungen beschäftigen sich mit dem Normalauge. Ueber die Netzhaut-Peripherie Farbenblinder liegen Untersuchungen von Schirmer<sup>5)</sup> u. a. vor.

Ich habe das Gesichtsfeld meiner Dichromaten geprüft am Förster'schen Perimeter und wählte als Probeobjecte die auch zu allen anderen Experimenten benutzten farbigen Heidelberger-Papiere, aus welchen Quaträte von 1 cm. Seite ausgeschnitten wurden. Die Untersuchung wurde am Tage zwischen 12 und 2 Uhr mittags gemacht. Die Grenzen wurden nur für den horizontalen Meridian bestimmt; für die farbigen Objecte wurden notirt die Grenzen, wo sie eben farbig erschienen. Im ganzen wurden nur sieben Herren untersucht.

1) Schadow. Die Lichtempfindlichkeit der peripheren Netzhauttheile im Verhältniss zu deren Raum und Farbensinn. 1879. Pflügers Archiv XIX.

2) Butz Untersuchungen über die physiol. Funktionen der Peripherie der Netzhaut. Inaugural-Dissertation. Dorpat 1883.

3) Charpentier Perceptions des couleurs à la périphérie de la retine. Archiv d'ophtalmologie par Panas, Landolt etc. Tome III.

4) Guillery. Ueber Raum- Licht- und Farbensinn der Netzhaut. Zeitschrift für Physiol. und Psychologie der Sinnesorgane Bd. XII. 3 und 4.

5) Schirmer. v. Graefe's Archiv XIX 2.

**Gesichtsfeld für farblose und farbige Objekte von 1 □ cm. Fläche.**

Temporal.	Normal.	v. K. I	v. K. II.	v. H.	H	P.	S.	v. A.
weiss	88°	80°	85°	85°	90°	88°	80°	90°
gelb	80°	75°	85°	80°	75°	72°	80°	81°
grün	65°	62°	70°	70°	75°	66°	—	52°
blau	80°	72°	78°	80°	78°	75°	72°	74°
roth	74°	40°	30°	56°	55°	65°	60°	70°
N a s a l								
weiss	57°	50°	56°	55°	60°	58°	54°	59°
gelb	41°	37°	38°	50°	35°	32°	32°	36°
grün	37°	40°	35°	38°	35°	33°	32°	35°
blau	42°	45°	45°	47°	45°	40°	35°	35°
roth	40°	30°	30°	40°	40°	30°	30°	38°

Aus der Tabelle ergibt sich im Allgemeinen, dass bei den untersuchten Dichromaten das Gesichtsfeld sowohl für Weiss als auch für Gelb, Grün, Blau dem Gesichtsfelde des Normalauges gegenüber nicht eingeengt ist; nur für Roth liegt ein abweichendes Verhalten von der Norm bei denjenigen Herrn vor, die sich auch nach den übrigen Untersuchungsmethoden als für Roth weniger empfindlich erwiesen. Bei ihnen sind die Grenzen für diese Farbe eingeengt, besonders bei den Herrn v. K. I und II.

Für Grün liess sich eine Unterempfindlichkeit nicht feststellen. So besonders bei dem Herrn v. H., welcher als bester Repräsentant der Gruppe von Dichromaten angesehen werden muss, die ein wenig verkürztes Spectrum zeigen, konnte eine Einengung für Grün nicht gefunden werden.

### **Untersuchungen am Farbenkreisel.**

„Die Mischungen von Farben mittelst des Farbenkreisels beruhen darauf, dass die Einwirkung der einen Farbe auf die Netzhaut noch fortdauert, während schon wieder eine andere Farbe einwirkt, und der Wechsel der Eindrücke so rasch erfolgt, dass aus ihnen eine besondere neue Empfindung resultirt, welche von den durch die Componenten hervorgebrachten Empfindungen völlig verschieden ist. Welche Vorgänge dabei in unseren Sinnesorganen stattfinden, ist allerdings ein ungelöstes Problem.“ (Aubert, *Physiol. der Netzhaut*). Ungelöst auch bis zum heutigen Tage!

Mischungen von Pigmentfarben konnten erst genau hergestellt und untersucht werden, seitdem der Engländer Maxwell den Farbenkreisel dermassen vervollkommenet hat, dass 1) die Grösse der Sektoren leicht verändert

und genau gemessen werden konnte, 2) dass gleich aussehende Mischungen aus verschiedenen Componenten unmittelbar mit einander verglichen werden konnten, 3) die Helligkeit der Mischungen sehr genau bestimmt werden konnte. Seit den Untersuchungen von Maxwell, sind sowohl von Augenärzten als Physiologen eine Anzahl Untersuchungen am Farbenkreisel gemacht worden, um sowohl rein physiologisch - theoretische, als auch praktische Fragen zu lösen. Wir haben dem Farbenkreisel die grundlegenden Arbeiten von Grassmann und von Helmholtz über die Farbenmischung zu danken. Mittelst des Farbenkreisels kann man ferner in vortrefflicher Weise feine Farbentöne und Farben-Nüancen herstellen. So sind bekanntlich die Tafeln Ole Bulls mit Hülfe des Farbenkreisels konstruirt worden. In Folge dessen ist der Farbenkreisel vielfach zur Diagnose der Farbenblindheit verwerthet worden.

Wir haben acht von den genannten 10 Dichromaten am Farbenkreisel untersuchen können. Die gewonnenen Gleichungen führe ich unten an. Ausser Graugleichungen haben wir eigentliche Farbengleichungen für Grün und Roth gefunden. Die Untersuchung wurde in der Weise gemacht, dass die Kreisel von den Dichromaten erst bei einer Geschwindigkeit der Umdrehungen beobachtet wurden, bei welcher die Scheiben vollkommen unbewegt erschienen; jedenfalls machten sie im minimum 60 Umdrehungen in der Sekunde.

Die Kreisel waren immer in dem nämlichen Raume dem Fenster gegenüber aufgestellt und gleichmässig hell beleuchtet. Die gewählten farbigen Papiere waren die oben vielfach benutzten Heidelberger Blumenpapiere und zwar waren die möglichst reinen und intensiven Sorten benutzt worden.



Die Gleichungen wurden vom Normalauge kontrolliert, indem das Zimmer so weit verdunkelt wurde, dass bei nicht rotierenden Scheiben die einzelnen farbigen Sektoren farblos erschienen. Dann wurden die Scheiben in rasche Rotation versetzt: dann stimmten die Gleichungen auch für das Normalauge.

### Gleichungen.

#### I.

- 1) v. K. I : weiss 145 + schwarz 215 = roth 100 + blau 17 + weiss 125 + schwarz 118
- 2) v. H. : weiss 85 + schwarz 275 = roth 125 + blau 76 + weiss 50 + schwarz 109
- 3) H : weiss 36 + schwarz 324 = roth 275 + blau 17,5 + weiss 14,5 + schwarz 53
- 4) P : weiss 127 + schwarz 233 = roth 87 + blau 87 + weiss 79 + schwarz 107
- 5) S : weiss 145 + schwarz 215 = roth 102 + blau 13 + weiss 125 + schwarz 120
- 6) v. A : weiss 54 + schwarz 306 = roth 156 + blau 61 + weiss 23 + schwarz 120
- 7) Pr : weiss 106 + schwarz 254 = roth 53 + blau 31 + weiss 67 + schwarz 209

#### II.

- 1) v. K. II : weiss 110 + schwarz 250 = grün 169 + blau 127 + weiss 55 + schwarz 9
- 2) v. K. I : weiss 152 + schwarz 208 = grün 103 + blau 47 + weiss 128 + schwarz 82
- 3) v. H. : weiss 76 + schwarz 284 = grün 179 + blau 57 + weiss 34 + schwarz 90

- 4) H. : weiss 85 + schwarz 275 = grün 142 + blau 65,5 + weiss 30,5 + schwarz 122
- 5) P. : weiss 113 + schwarz 247 = grün 131 + blau 63 + weiss 49 + schwarz 117
- 6) S. : a) weiss 175 + schwarz 185 = grün 103 + blau 47 + weiss 128 + schwarz 82  
b) weiss 112 + schwarz 248 = grün 195 + blau 88 + weiss 34 + schwarz 43
- 7) v. A. : weiss 91 + schwarz 269 = grün 165 + blau 58 + weiss 48 + schwarz 89
- 8) Pr. : weiss 74 + schwarz 286 = grün 146 + blau 50 + weiss 19 + schwarz 145.

## III.

- 1) v. K. II : Die Gleichung stimmte auch für das Normalauge.
- 2) v. K. I : a) weiss 163 + schwarz 197 = gelb 126 + blau 153 + weiss 37 + schwarz 44  
b) weiss 143 + schwarz 217 = gelb 91 + blau 153 + weiss 37 + schwarz 79
- 3) v. H. : weiss 137 + schwarz 223 = gelb 88 + blau 169 + weiss 56 + schwarz 117
- 4) H : weiss 118 + schwarz 242 = gelb 120 + blau 179,5 + weiss 33 + schwarz 27,5
- 5) P. : es gelang nicht eine Gleichung zu finden
- 6) v. A. : weiss 130 + schwarz 230 = gelb 67 + blau 108 + weiss 50 + schwarz 135, diese Gleichung stimmte auch für das Normalauge.
- 7) Pr. : weiss 139 + schwarz 221 = gelb 85 + blau 146 + weiss 40 + schwarz 89. Diese Gleichung stimmte auch für das Normalauge.

## IV.

- 1) v. K. II : weiss 87 + schwarz 81 + grün 198 = gelb  
108 + blau 115 + weiss 39 + schwarz 98
- 2) v. K. I : weiss 53 + schwarz 0 + grün 307 = gelb  
201 + blau 154 + weiss 5 + schwarz 0
- 3) v. H. : weiss 114 + schwarz 119 + grün 127 = gelb  
108 + blau 113 + weiss 36 + schwarz 103
- 4) S. : weiss 53 + schwarz 0 + grün 307 = gelb 175  
+ blau 185
- 5) v. A. : weiss 96 + schwarz 146 + grün 118 = gelb  
88 + blau 109 + weiss 41 + schwarz 122.

## V.

- 1) v. K. II: weiss 110 + schwarz 130 + roth 120 =  
gelb 108 + blau 123 + weiss 39 + schwarz 90
- 2) v. K. I: weiss 117 + schwarz 0 + roth 243 = gelb  
140 + blau 176 + weiss 44
- 3) v. H.: weiss 122 + schwarz 128 + roth 110 = gelb  
120 + blau 105 + weiss 27 + schwarz 108
- 4) S.: a) weiss 76 + schwarz 41 + roth 243 = gelb  
111 + blau 122 + schwarz 127  
b) weiss 110 + schwarz 130 + roth 120 = gelb  
108 + blau 123 + schwarz 90 + weiss 39
- 5) v. A.: weiss 55 + schwarz 55 + roth 163 = gelb  
104 + blau 108 + weiss 87 + schwarz 61
- 6) Pr.: a) weiss 69 + schwarz 196 + roth 95 = gelb  
59 + blau 75 + weiss 22 + schwarz 204  
b) weiss 67 + schwarz 188 + roth 105 = grün  
154 + blau 20 + weiss 38 + schwarz 148.

Was lässt sich nun aus diesen Gleichungen schlies-  
sen? Zu weit würde man gehen, wenn man aus ihnen  
mehr als allgemeine Gesichtspunkte gewinnen wollte,

zumal die Farben, mit denen man arbeitet, Pigmente sind. Für unsere Schlussfolgerungen fällt dieser Fehler jedoch kaum in die Wagschale. Wir können zunächst diesen Gleichungen mit Sicherheit entnehmen, dass ein Dichromat aus 2 Farben alle seine Farben mischen kann, was ja eine bekannte Thatsache ist. Ferner aber, dass ein Dichromat nur in seltenen Fällen die Gleichungen eines anderen Dichromaten auch derselben Ordnung anerkennt. In den meisten Fällen differieren die Gleichungen der Dichromaten derselben Gruppe nicht unerheblich.

Besondere Typen können wir aus diesen Gleichungen, wie wir sie bei unseren anderen Untersuchungsmethoden gefunden haben, nicht ohne Weiteres feststellen. Das hat seinen Grund darin, dass wir zu viele variable Grössen in den Gleichungen haben. Würden wir die Gleichungen vereinfachen und sie unter einen gemeinsamen Gesichtspunkt bringen können, so wäre solches dem Vergleich dienlicher. Ich gehe von dem Gedanken aus, dass die benutzten Farben roth, grün, gelb, blau einen verschieden grossen Helligkeitswerth besitzen, so dass das roth, grün, gelb im Vergleich zu dem benutzten blau für das farbentüchtige Auge einen etwas grösseren Helligkeitswerth haben als blau; sie sind greller und viel weiter sichtbar als blau (vergl. den Gesichtswinkel). Leider war es mir nicht möglich photometrisch die Helligkeit der Papiere zu prüfen. Ich addierte nun in den Grau-Gleichungen für roth und blau den Roth-Werth jedesmal zum Weiss und den Blauwerth zum Schwarz und vereinfachte so die Gleichungen zu einfachen Dunkel-Gleichungen. Auf diese Weise bekam ich aus der Tabelle 1. folgende vereinfachte Gleichungen:

## ad. I.

- 1) v. K. I: 225 hell + 135 dunk. = 145 weiss + 215 schw.
- 2) v. H.: 175 hell + 185 dunk. = 85 weiss + 275 schwarz
- 3) H.: 289,5 hell + 70,5 dunkel = 36 weiss + 324 schw.
- 4) P.: 166 hell + 194 dunk. = 127 weiss + 233 schwarz
- 5) S.: 267 hell + 133 dunk. = 145 weiss + 215 schwarz
- 6) v. A.: 179 hell + 181 dunk. = 54 weiss + 306 schwarz
- 7) Pr.: 120 hell + 240 dunk. = 106 weiss + 254 schwarz

Aus dieser Tabelle ist schon leichter zu lesen, doch habe ich auch sie, um sie noch übersichtlicher zu machen, derart verändert, dass ich für je 2 Werthe in jeder Gleichung bei allen Dichromaten die gleiche Grösse ansetzte, ohne jedoch das relative Verhältniss dadurch zu stören. So bekommen wir folgende Tabelle:

## ad I. a.

- 1) v. K. I: 150 hell + 90 dunk. = 90 weiss + 134 schwarz
- 2) v. H.: 85 hell + 90 dunk. = 90 weiss + 289 schwarz
- 3) H.: 347 hell + 90 dunk. = 90 weiss + 875 schwarz
- 4) P.: 77 hell + 90 dunkel = 90 weiss + 166 schwarz
- 5) S.: 151 hell + 90 dunkel = 90 weiss + 134 schwarz
- 6) v. A.: 89 hell + 90 dunkel = 90 weiss + 489 schwarz
- 7) Pr.: 46 hell + 90 dunkel = 90 weiss + 211 schwarz.

Nun kann man ziemlich leicht die Gleichungen mit einander vergleichen. Achten wir auf die linken Glieder der Gleichungen, so fallen uns die hohen Werthe für hell bei Fall 1, 3, 5, auf, welche Werthe je die Roth-Komponenten enthalten, während in Fall 2, 4, 6, 7 die Werthe für hell bedeutend niedriger sind. In einzelnen Fällen wird demnach bedeutend mehr roth für eine Grau-Gleichung von annähernd derselben Nuance gebraucht als in den anderen Fällen d. h. auch hier am Farbenkreisel macht sich die Unempfindlichkeit einzelner Dichromaten für roth stark geltend, so dass

deutliche Unterschiede in den Gleichungen im Sinne zweier entfernt von einander stehenden Typen von Dichromaten zu Tage treten. Zwischenstufen scheinen auch hier nicht ausgeschlossen, vielmehr wahrscheinlich zu sein, so dass eine scharfe Grenze zwischen den Typen nicht gezogen werden kann.

Versuchen wir nun die Tabelle II ebenfalls in ganz analoger Weise zu vereinfachen, indem wir das Grün zum Hell und Blau wiederum zum Dunkel rechnen. Wir bekommen dann zunächst folgende Gleichungen:

ad. II.

- 1) v. K. II: 224 hell + 136 dunkel = 110 weiss + 250 schwarz.
- 2) v. K. I: 231 hell + 129 dunkel = 152 weiss + 208 schwarz.
- 3) v. H.: 213 hell + 147 dunkel = 76 weiss + 284 schwarz.
- 4) H.: 137 hell + 187 dunkel = 85 weiss + 275 schwarz.
- 5) P.: 180 hell + 180 dunkel = 113 weiss + 247 schwarz.
- 6) S.: a) 231 hell + 129 dunkel = 175 weiss + 185 schwarz.  
b) 229 hell + 131 dunkel = 112 weiss + 248 schwarz.
- 7) v. A.: 213 hell + 147 dunkel = 91 weiss + 269 schwarz.
- 8) Pr.: 165 hell + 195 dunkel = 74 weiss + 286 schwarz.

Vereinfachen wir diese Gleichungen noch weiter, so bekommen wir:

ad. II. a.

- 1) v. K. II: 149 hell + 90 dunkel = 90 weiss + 208 schwarz.
- 2) v. K. I: 165 hell + 90 dunkel = 90 weiss + 122 schwarz.
- 3) v. H: 133 hell + 90 dunkel = 90 weiss + 339 schwarz.
- 4) H.: 68 hell + 90 dunkel = 90 weiss + 289 schwarz.
- 5) P.: 90 hell + 90 dunkel = 90 weiss + 203 schwarz.
- 6) S.: a) 165 hell + 90 dunkel = 90 weiss + 97 schwarz.  
b) 208 hell + 90 dunkel = 90 weiss + 206 schwarz.
- 7) v. A.: 133 hell + 90 dunkel = 90 weiss + 266 schwarz.
- 8) Pr.: 78 hell + 90 dunkel = 90 weiss + 343 schwarz.

In dieser Gruppe Gleichungen tritt uns nichts dem obigen analoges entgegen; zwar sehen wir auch hier mehr weniger Differenzen, die aber keineswegs für irgend welche Gruppe als typisch bezeichnet werden können; hier ist vielmehr das atypische, das zufällige charakteristisch. Die Differenzen finden hier ihre Erklärung aus dem zufälliger Weise grösseren oder kleineren Gehalt der Gleichungen an Weiss resp. Schwarz. Die Farbe Grün als solche scheint auf irgend welche Gruppierung von gar keinem Einfluss gewesen zu sein. Die Grau-Gleichungen für Gelb und Blau einer Vereinfachung zu unterwerfen hielt ich für zwecklos, weil sie fast alle auch für das Auge des Trichromaten nahezu stimmten. Ebenso unterliess ich es die Tabelle IV und V in dem Sinne umzuändern wie die Grau-Gleichungen. Der Versuch würde voraussichtlich zu einem negativen Resultat geführt haben, weil in diesen Gleichungen die

Zahl der farbigen Componenten um eine vermehrt ist und dadurch ein um vieles beträchtlicherer Fehler entstände.

Wenn wir nun die bisherigen Untersuchungs-Ergebnisse zu einem Ganzen formulieren wollen, so können wir folgende Sätze aufstellen:

Unter den zur Untersuchung gelangten Farbenblinden fanden wir Fälle, welche sich durch die verschiedenen Untersuchungsmethoden deutlich von einander unterschieden. Die Einen haben ein stark verkürztes rothes Spektralende mit dem Helligkeitsmaximum im Grün und ein entsprechend verlängertes violettes Spektralende. Die Anderen haben ein fast unverkürztes rothes Spektralende mit dem Helligkeitsmaximum im Gelb.

Die Einen haben bei normalem Lichtsinn kolossal stark herabgesetzte Schwellenwerte für Roth; die Andern haben normalen Lichtsinn und normale Schwellenwerthe für farbiges Licht, auch für Roth und auch für Grün.

Die Einen zeigen beim Versuch mit den farbigen Schatten eine kolossal stark herabgesetzte Inductions-Empfindung bei rothem Glase; bei den Andern tritt bei dem gleichen Versuche die Inductionsempfindung absolut gleichzeitig wie beim Normalauge ein. Bei grünem Glase verhalten sich beide Gruppen nahezu gleich.

Die Einen haben einen relativ grossen Gesichtswinkel für Roth; die Anderen weichen von der Norm nicht ab, insbesondere auch dem Grün gegenüber nicht.

Die Einen haben bei rothem Glase eine herabgesetzte Sehstärke relativ zum Normalauge, die Anderen nicht; auch nicht beim Vorhalten eines grünen Glases.

Die Einen zeigen ein relativ eingeengtes Gesichtsfeld für Roth; die Anderen zeigen durchaus normale Gesichtsfeldsgrenzen für alle Farben.



Beide Gruppen unterscheiden sich von einander durch ihre Grau-Gleichungen mit Roth und Blau, insofern als die Einen mehr Roth als die Anderen bedürfen zur Erzielung derselben Graugleichung.

Eine scharfe Trennung beider Gruppen ist undurchführbar, da es offenbar Zwischenstufen giebt, welche man mit demselben Rechte oder Unrechte sowohl der einen als auch der andern Gruppe zuzählen kann. Sie sind analog zu setzen den individuellen Schwankungen des normalen Farbensinnes, wie solche durch die Untersuchungen Raehlmanns festgestellt sind.

In Bezug auf die Lage der neutralen Stellen Raehlmanns weichen nach unseren Beobachtungen fast alle Dichromaten von einander ab; ein besonderes, charakteristisches Verhalten im Sinne zweier Typen von Farbenblinden ist aus ihr nicht zu konstatieren. Nach unseren Untersuchungen scheint vielmehr die Lage derselben im Spektrum eine individuell verschiedene zu sein. So zeigte ein ganz abweichendes Verhalten der Herr Prof. A., wie wir bereits oben gesehen haben.

Hier will ich noch eine Beobachtung anführen, ohne ihr eine wesentliche Bedeutung zuschreiben zu wollen, als ich den Farbenblinden die bekannten Stilling'schen pseudoisochromatischen Tafeln zeigte. Mehrere von ihnen konnten mit Mühe einzelne Buchstaben resp. Zahlen der ersten Tafeln erkennen, während andere sie absolut nicht erkennen konnten. Die ersten waren die Herren mit stark verkürztem Spektrum etc., die letzteren die Herren mit fast unverkürztem Spektrum.

#### **Schlussbetrachtungen.**

Wir kommen nun zur Frage, wie diese Ergebnisse mit den herrschenden Theorien der Farbenempfindung

in Einklang zu bringen sind? Vornehmlich zwei Theorien, die von J o u n g - H e l m h o l t z und die von H e r i n g stehen sich gegenüber. Nach der ersten wird die Farbenblindheit erklärt durch Fehlen einer Faserart, dementsprechend unterscheidet sie eine Roth-Grün- und Violetblindheit. Stimmt das mit unseren Betrachtungen?

Was die Rothblindheit betrifft, so können wir in Uebereinstimmung mit unseren Befunden, die in einzelnen Fällen eine Unempfindlichkeit für Roth klar darthun, von einer richtigen Rothblindheit sprechen. In keinem Falle aber finden wir eine Grünblindheit im gleichem Sinne d. h. einen Ausfall der Empfindung im spectralen Grün. Der sogenannte Grünblinde sieht das spektrale Grün zwar nur als „grau“ oder „Schmutzfarbe“, immerhin ist aber eine Empfindung für diese Farbe vorhanden und die vorhandenen Untersuchungen berechtigen nicht zu der Annahme, dass diese Empfindung an Intensität geringer sei als beim Normalauge. Ebenso sind die Schwellenwerthe der pseudo-Grünblinden für Grün keineswegs grösser als für das Normalauge, die Inductionsempfindung bei den farbigen Schatten tritt für Grün genau gleichzeitig mit der des Normalauges auf etc. etc. Es kann somit die sog. „Grünblindheit“ (Deutanopie v. Kries) aus der J o u n g'schen Theorie nicht erklärt werden d. h. nicht durch Ausfall der Funktion eines farbenempfindenden Organs.

Nach H e r i n g ist Rothblindheit und Grünblindheit dasselbe, er nennt die Anomalie Rothgrünblindheit — zu bemerken ist hier übrigens, dass H e r i n g <sup>1)</sup>

1) E. H e r i n g. Bemerkungen zu A. K ü n i g's Kritik einer Abhandlung über individuelle Verschiedenheiten des Farbensinnes Centralblatt für prakt. Augenheilkunde v. Hirschberg 1886.

1885 die Rothgrünblinden in zwei Gruppen zu theilen neigt. Wenn die Unempfindlichkeit, oder das Fehlen der Rothgrünsubstanz dem Rothgrünblinden zukommen soll, so können wir nicht verstehen, warum, wenn eine Lücke im Spectrum für roth einmal vorhanden ist, einmal nicht, warum ferner eine Lücke im Grün niemals besteht; ebensowenig ist nach Hering die verschiedene Lage der Helligkeitsmaxima verständlich und das Vorhandensein der neutralen Stellen, von denen in der Regel nur zwei, je eine auf jeder Seite des Helligkeitsmaximums gelegen sind und welche ausserdem für verschiedene Dichromaten verschieden liegen.

Ebbinghaus<sup>1)</sup> versucht das verschiedene Verhalten der Rothgrünblinden untereinander in Bezug auf die Lage ihrer verschiedenen Helligkeitsmaxima etc. durch die zwei vorhandenen verschiedenen Modifikationen des Sehpurpurs zu erklären. Wie weit dieses für die Erklärung zulässig ist, mag dahingestellt bleiben. Doch glauben wir, dass sich durch diese Annahme kaum die gewaltigen Unterschiede der verschiedenen Fälle erklärt werden können. So die verschiedenen grossen Schwellenwerthe, die Inductionsempfindung etc. etc. Andererseits müssten die verschiedenen Modifikationen des Sehpurpurs auch bei den normalen farbentüchtigen Individuen relativ viel grössere Verschiedenheiten bedingen, als die bisher beobachteten Fälle der anomalen Trichromaten Königs<sup>2)</sup> sie liefern.

1) H. Ebbinghaus. Theorie des Farbensehens. Zeitschrift für Physiologie und Psychologie der Sinnesorgane V. 3. u. 4

2) A. König und Dieterici. Die Grundempfindungen im normalen und anomalen Farbensystem und ihre Intensitätsverteilung im Spectrum. Zeitschrift für Physiol. u. Psychol. der Sinnesorgane. 1892. IV.

Wollten wir also unsere Untersuchungsergebnisse besonders die Unempfindlichkeit für roth einerseits, andererseits die nicht herabgesetzte Empfindlichkeit für Grün aus der Vierfarbentheorie erklären, so stellen sich uns vielleicht noch grössere Schwierigkeiten in den Weg, als durch die Theorie Joung-Helmholtz. Und selbst wenn wir von diesen Schwierigkeiten absehen, so bleibt die Theorie immerhin noch schuldig den Vorgang der Uebertragung des sich in der photochemischen Substanz abspielenden Processes auf die Nerven zu erklären. Denn obwohl Herings Theorie uns den Vorteil liefert die Mannigfaltigkeit der Reizungen, welche das Licht in der Netzhaut bewirkt, auf einzelne Formen photochemischer Reaktion reducirt zu erhalten, bleibt doch die Erklärung, wie diese photochemischen Processe auf die Nervenendigungen übertragen werden, eine Schwierigkeit, welche ihrerseits neue Theorien erfordert.

Noch am einfachsten lassen sich die Erscheinungen der Dichromasie erklären, wenn man die Joung-Helmholtz'sche Hypothese in einer Weise erweitert, wie Helmholtz selbst in der neuesten Auflagen seiner physiol. Optik vorgeschlagen hat, nämlich durch eine Aenderung der Intensitätskurven, welche die Erregung der drei hypothetischen Endorgane (Energieen) für die verschiedenen Wellenlängen des Lichtes ausdrücken. Dadurch würde das normale Farbensystem zur Dichromasie eingeeengt werden, ohne dass eine der Energieen auszufallen braucht.

Um diese Vorgänge darzustellen, müssen die Intensitätskurven andere Formen erhalten. Ein Ausfall einer Kurve im Sinne von Joung-Helmholtz ist nicht denkbar. Er müsste den Farbenblinden dem

Farbentüchtigen gegenüber in Bezug auf die Aussenwelt stark benachteiligen. Dieses ist aber nicht der Fall. Im Gegenteil sieht der Farbenblinde, wenn er seine Farben zu weiss summiert, genau ebensoviel Helligkeit, als der Normalsehende, sein Lichtsinn ist nicht herabgesetzt; in der Dämmerung kann der Farbenblinde sich oft besser orientieren als ein Farbentüchtiger<sup>1)</sup>. Aendern wir also die Intensitätskurven derart, dass die Grünkurve sich mehr und mehr der Rothkurve nähert, so würde die erstere, welche normaliter für grünes Licht vorzugsweise empfindlich ist, mehr für gelbes und bei höheren Graden der Verschiebung auch für rothes Licht und weniger für grünes Licht empfindlich werden. So erklären sich ganz ungezwungen die Beobachtungen, die man an den sogenannten „Grünblinden“ gemacht hat: so das unverkürzte Spectrum, die Lage des Helligkeitsmaximums im Gelb, das Vorhandensein von nur ein Paar neutraler Stellen im Spectrum oder das Sehen von Farbentönen innerhalb der warmen Spektralhälfte.

Denken wir uns dagegen die Rothkurve stark zur Grünkurve zu verschoben, dann haben wir die Rothblindheit mit allen ihren Eigentümlichkeiten, als Verkürzung des Spektrums, Lage des Helligkeitsmaximums im Grün, grosser Schwellenwerth für Roth, herabgesetzte Inductionsempfindung bei den farbigen Schatten für Roth, Verlängerung des violetten Spektralendes etc.

Dass die Kurven individuell sehr verschieden gezeichnet werden müssen, lehrt uns besonders der roth-

1) E. Raehlmann. Ueber relativen und absolutem Mangel des Farbensinnes. Zeitschrift für Augenheilkunde. 1900.

blinde Herr Prof. A. Um sein Farbensystem durch Kurven graphisch darzustellen, müssen wir die Rothkurve stark nach der grünen Kurve hin verschoben denken, entsprechend dem Farbensystem eines Rothblinden im Allgemeinen. Jedoch abweichend davon müssen sowohl die Roth- als die Grünkurve entsprechend der Zone für das Helligkeitsmaximum eine Strecke der Abscisse parallel verlaufen und zusammenfallen, wodurch das Fehlen der Wahrnehmung von Farbentönen in dieser Strecke ausgedrückt würde.

Die Verlängerung des Spectrums, die bei Rothblinden häufig ausserordentlich stark sein kann, könnte man, wenn man nicht eine Aenderung der Blau respektive Violetkurve annimmt, leicht erklären durch die Verschiebung der rothen Kurve zum Blau.

Auch die individuellen Verschiedenheiten des normalen Farbensystems finden durch die Annahme verschiedener Grundfarben respektive Grundempfindungen ihre Erklärung. Nach den Untersuchungen Dr. Waldhauers<sup>1)</sup>, welcher unter Raehlmanns Leitung arbeitete, an einer grösseren Anzahl farbentüchtiger Comilitonen am Spektralapparat schwanken die Grenzen und die Ausdehnungen der Farbenfelder im Spektrum innerhalb gewisser physiologischer Grenzen. Einen höheren Grad der physiologischen Verkürzung des Spectrums zeigen die sogenannten „Farbenschwachen“. Die typische partielle Farbenblindheit kann als höherer Grad dieser Anomalie betrachtet werden. Prof. Raehlmann<sup>2)</sup> hat bereits im Jahre 1873 die Erscheinungen

1) Waldhauer. Inaugural-Dissertation. Dorpat, 1888.

2) E. Raehlmann. v. Graefe's Archiv für Ophthalmologie. Bd. XIX. 3. p. 96.

bei der sogenannten Grünblindheit auf „Schwächezustände der bezüglichen Fasergattung oder auf eine Aenderung der Empfindlichkeit der übrigen Elemente“ zurückgeführt und ebenda<sup>1)</sup> die im obigen Sinne modificirten Kurven für die Rothblindheit und Grünblindheit gezeichnet. Es heisst dort l. c. pag 59: „Ich erkläre mir daher die Erscheinungen der Farbenblindheit, wie sie das Auge des Herrn Dr. S. (ein Grünblinder) darbietet, hervorgebracht durch andere Bedingungen der Erregbarkeit in übrigens anatomisch ganz gleichen und auch physiologisch gut funktionierenden Nervenelementen.“ Und weiter: „Das Maximum besonders der mittleren Kurve würde mehr nach dem Roth zu verrückt sein, es würden also hier in Wirklichkeit nur zwei Grundfarben: Gelb oder Roth und Blau übrig, die physiologisch-subjective Farbmischung aber aus drei Komponenten bestehen bleiben.“

Es würde sich sehr leicht bei einer solchen Auffassung erklären, das bei vielen Daltonisten das Maximum der Helligkeit des Spektrums im Gelb liegt. Ferner würde sich leicht erklären die Verwechselung der rothen, gelben und grünen Töne einerseits, die der blauen und violetten andererseits, überhaupt die Zweifarbigkeit des subjectiven Spektrums.

In jenen Fällen, wo wir uns das Maximum der mittleren Kurve um ein Weniges verschoben denken, wird die Störung der Empfindung am Spectrum weniger merklich sein und die Anomalie mehr durch Verbreiterung der Lineardimensionen einzelner Spektralfarben auf Kosten anderer hervortreten.

---

1) E. Raehlmann. v. Graefes Archiv für Ophthalmologie. Bd. XXII p. 59.

Wenn wirkliche Verwechselung der Haupttöne des Spectrums vorkommt, werden andere Hauptfarben als Grundfarben gedacht werden müssen.“

Nichts anderes lehren die neueren Untersuchungen A. König's u. Dieterici's<sup>1)</sup>, Brodhun's<sup>2)</sup>, v. Kries's<sup>3)</sup> u. a. König und Dieterici kommen auf Grund subtilster Untersuchungen normaler und farbenblinder Augen am Farbmischungsapparat v. Helmholtz's zu der nämlichen Anschauung, dass es sich bei den Dichromaten um andere Grundempfindungen handeln müsse. Desgleichen kommt von Kries zu dem Schluss, dass das Farbensystem der Rothblinden (Protanopen) und der Grünblinden (Deutanopen) zwei verschiedene Reduktionsformen des normalen trichromatischen Systems darstellen.

### Uebersicht.

Nehmen wir somit als Grundstock unserer Anschauungsweise die Joung-Helmholtz'sche Hypothese an mit der Modification, dass die subjectiven Grundempfindungen individuell verschiedene sein müssen, so glauben wir die von uns eruirten Eigentümlichkeiten des Farbensystems der Dichromaten am besten erklären zu können. Damit soll indess gegen

1) A. König und Dieterici. Cf. p. 75.

2) Brodhun. Ueber die Empfindlichkeit des grünblinden und normalen Auges gegen Farbenänderungen im Spektrum. Zeitschrift für Physiologie und Psychologie der Sinnesorgane. 1897, 13.

3) v. Kries. Ueber Farbensysteme. Zeitschrift für Physiologie und Psychologie der Sinnesorgane. 1897, 13.



die Theorie der Gegenfarben nicht unbedingt Stellung genommen werden, vielmehr bleibt die Frage offen, inwiefern ein Einfluss individuell verschiedener chemischer Prozesse in der Netzhaut als des Macula-Pigments, der chromatischen Substanzen im Sinne Hering's, des Sehpurpurs im Sinne Ebbinhaus', der Färbung der brechenden Medien etc. für die individuellen Verschiedenheiten des normalen und anormalen Farbensystems von Bedeutung sein kann.

Aus unseren Untersuchungen selbst aber können wir weder für die eine noch für die andere Theorie besondere Stützpunkte ableiten. Unsere Beobachtungen sprechen vielmehr noch am meisten dafür, dass den Daltonisten wie den Trichromaten eine vielleicht nicht kleine Anzahl von Farbenempfindungen eigen sind, die sich mit denen des normal Farbensehenden aber deshalb nicht vergleichen lassen, weil sie durch Mischungen aus anderen Grundfarben zu Stande kommen.

Wir erklären uns demnach die Farbenblindheit durch eine Verrückung der Grundfarben im Spektrum, wobei die Empfindlichkeit des farbenblinden Auges für alle Wellenlängen von  $\lambda$  760,40 bis  $\lambda$  396,879 analog wie beim Normalauge vorhanden sein kann (vergl. Fall v. H. Tabelle, p. 36).

Diese Vorstellungsform würde eine Aenderung der Intensitätskurven in dem pag. 77 entwickeltem Sinne graphisch zur Anschauung bringen, wie die Mischempfindungen aus anderen Grundfarben zu Stande kommen und wie dieselben sich schliesslich bei Dichromaten auf zwei Grundempfindungen reducieren. Dass diese rein theorethische Vorstellung eine praktische Unterlage besitzt, geht aus der Beobachtung Raehl-

mann's<sup>1)</sup> hervor, wonach zu Beginn der Sehnervenatrophie, wenn bei noch guter Sehschärfe die Störungen des Farbensinnes beginnen, im Spektrum Verschiebungen der Farbenfelder auftreten, bei welchen „die lianare Ausdehnung des Gelb auf Kosten der Ausdehnung des Grün, oder das Blau auf Kosten des Grün vergrößert ist.“

Diese Vorstellung von der Aenderung der Grundfarben ist auch in Uebereinstimmung mit den Resultaten unserer Untersuchungen, nach welchen bei den Dichromaten trotz ihres dem Normalauge gegenüber abweichenden resp. auch reducirten Farbensystems kein Ausfall im Umfange der Sehfunktion vorhanden ist. Wir betrachten es vielmehr durch unsere Untersuchungen für erwiesen, dass der Defect in der Empfindung gegen Roth, wie er bei einer Gruppe von Dichromaten so ausgesprochen besteht, dass diese die Bezeichnung als Rothblinde durchaus verdienen, wieder ersetzt wird durch eine höhere Empfindlichkeit gegenüber anderen Wellenlängen.

Diese Beobachtungen sind ebenfalls geeignet, unsere Annahme von den veränderten Grundempfindungen im Farbensystem der Dichromaten gegenüber den Anschauungen über den Ausfall resp. die Unwirksamkeit von Nervenenergieen resp. chromatischen Substanzen entschieden zu stützen.

---

1) E. Raehlmann v. Graefe's Archiv für Ophthalmologie. Bd. XXII. 1. pag. 56 und Bd. XIX. 2. p. 38.

## Thesen.

---

1. Eine Grünblindheit im Sinne der Autoren giebt es nicht.
  2. Die Untersuchung der Eisenbahnbeamten auf Farbentüchtigkeit sollte nur von Augenärzten ausgeführt werden.
  3. Dem Missbrauche dunkler Schutzbrillen sollte ärztlicherseits gesteuert werden.
  4. Die Behandlung des Ulcus serpens corneae mittelst des Glüheisens ist zu verwerfen; anstatt ihrer ist
  5. in jedem Falle, wo ein operativer Eingriff indicirt ist, die Spaltung des Geschwürsgrundes nach Graefe- Saemisch zu vollführen.
  6. Staaroperationen sollen nur von Specialisten ausgeführt werden.
  7. Die sog. „fliegenden augenärztlichen Colonnen“ müssen besonders in Trachomreichen Gegenden durch ständige Augenhospitäler ersetzt werden.
-